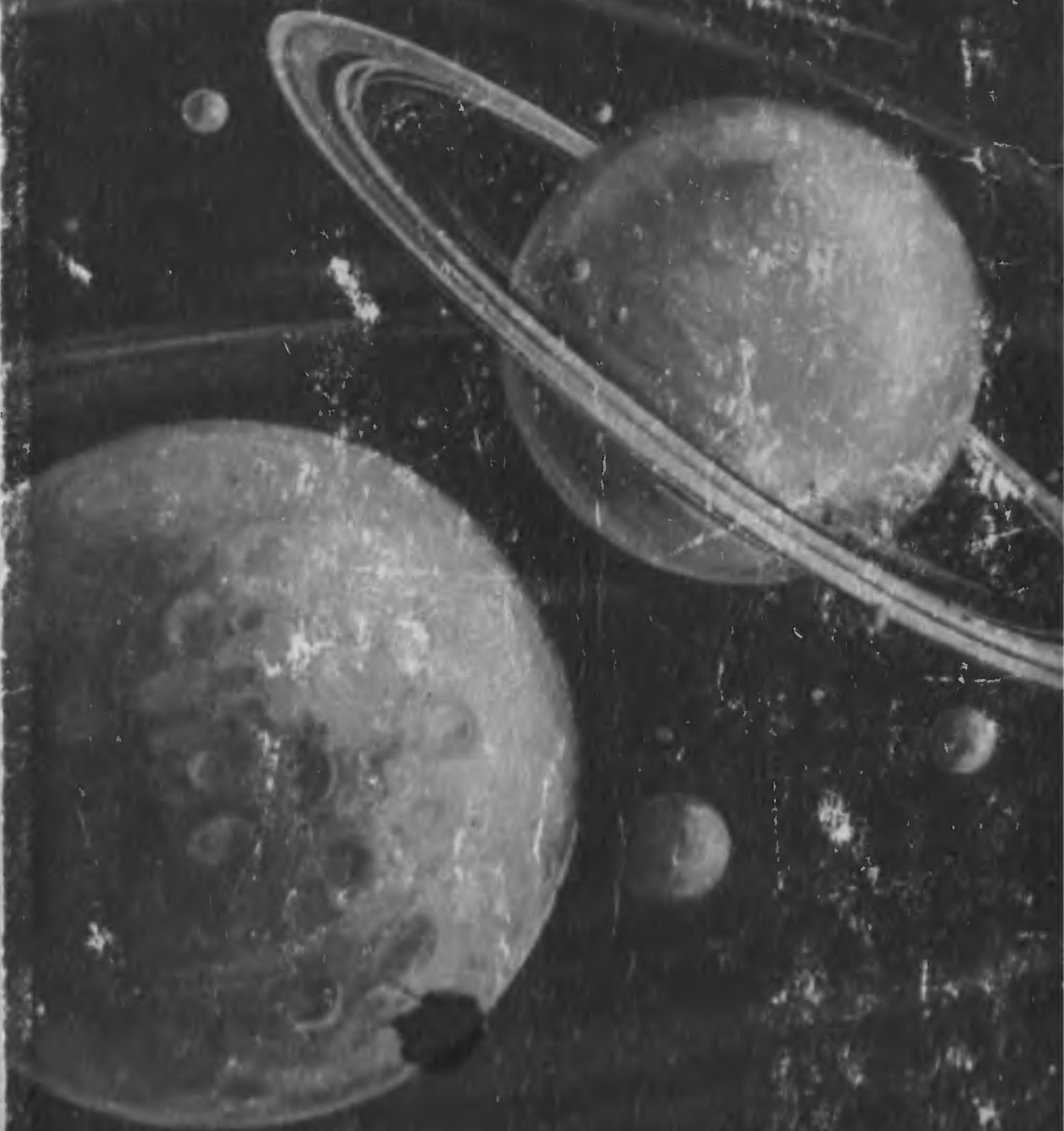


VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

D. Moore

АСТРОНОМИЯ

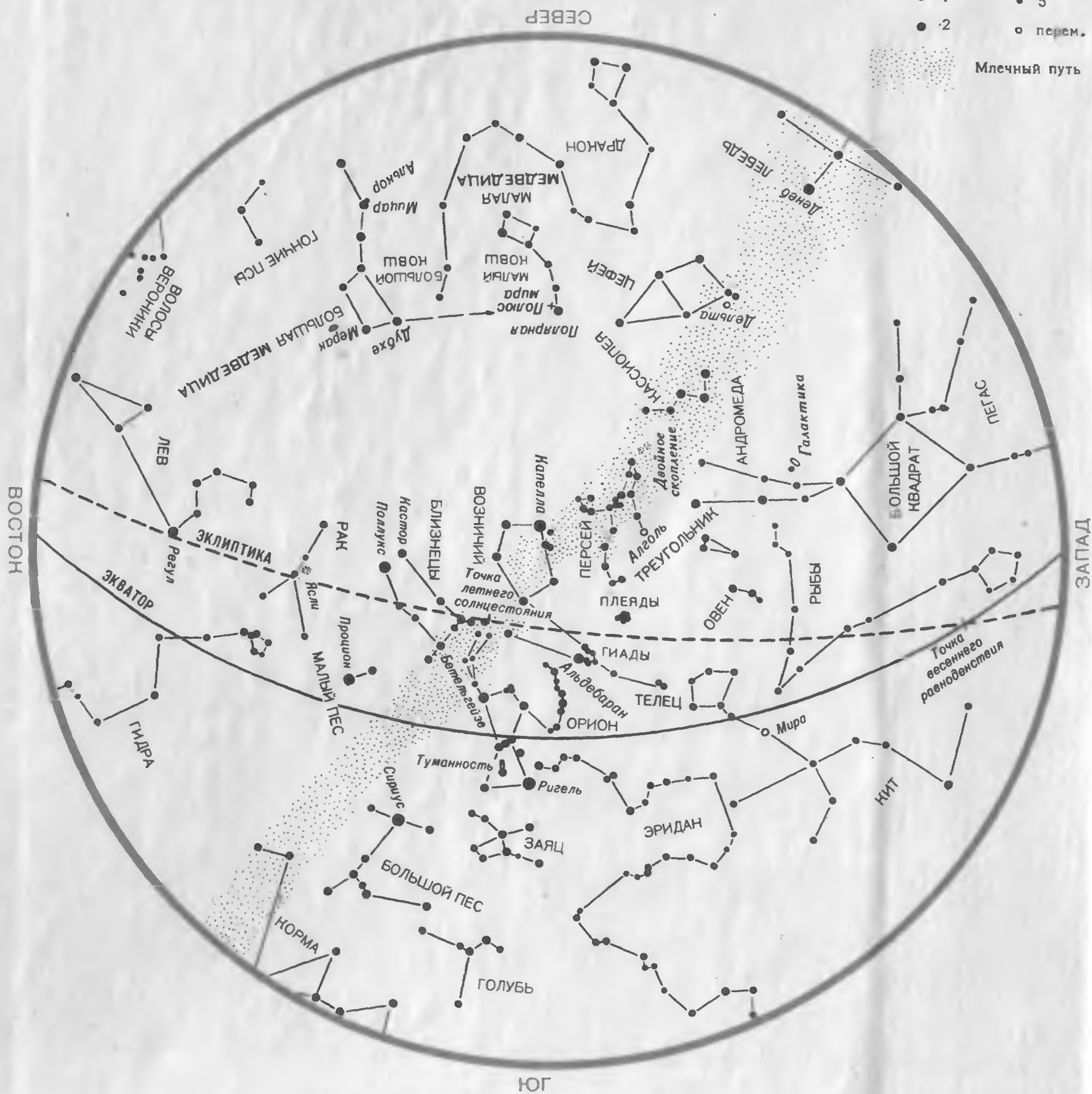


ЗИМНЕЕ НЕБО

ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

- | | |
|------|----------|
| ● -1 | ● 3 |
| ● 0 | ● 4 |
| ● 1 | ● 5 |
| ● 2 | ○ перем. |

Млечный путь



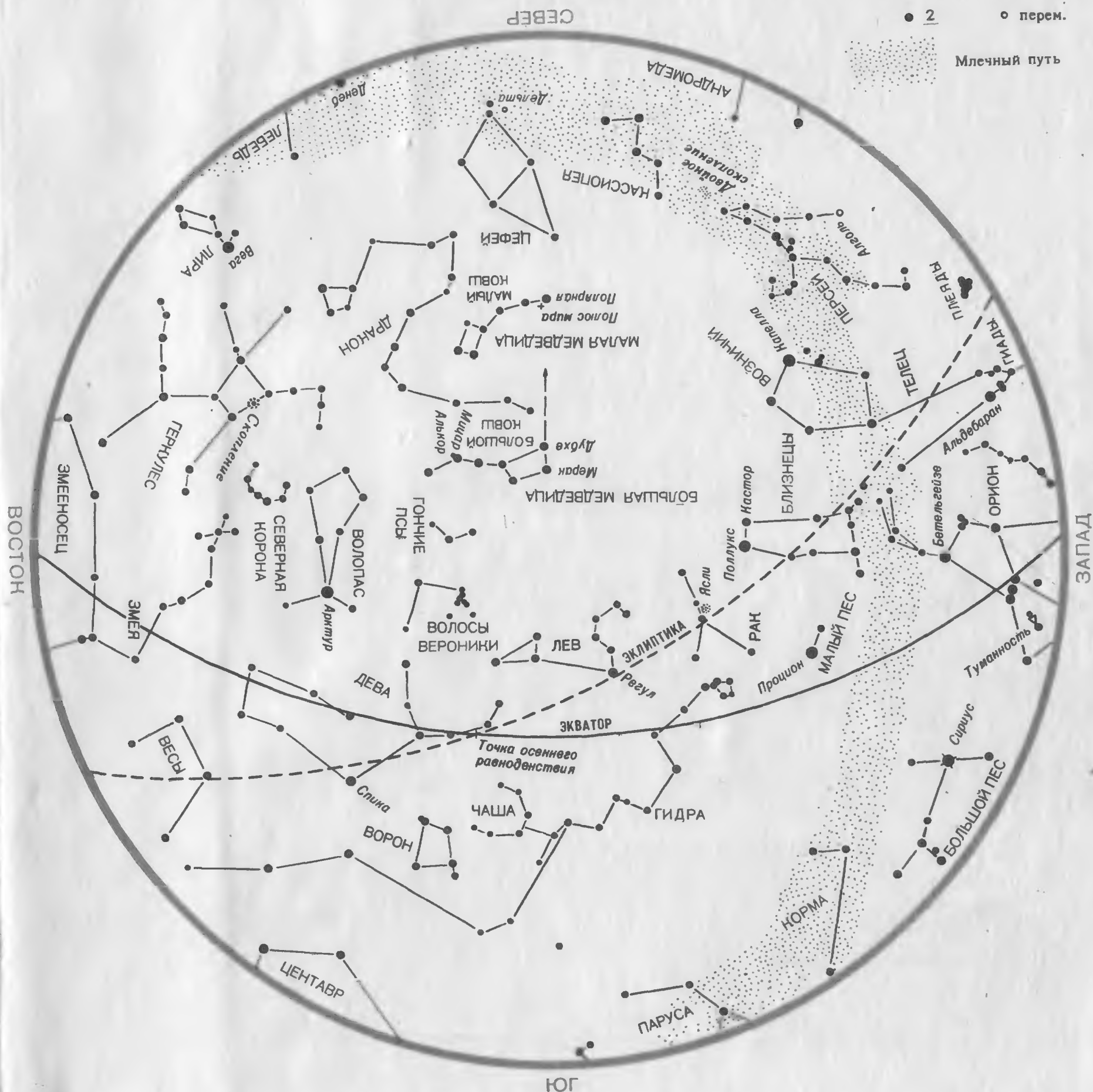
ВРЕМЯ НАБЛЮДЕНИЯ

Вторая половина декабря	23 ^h	Первая половина февраля	20 ^h
Первая половина января	22 ^h	Вторая половина февраля	19 ^h
Вторая половина января	21 ^h	Первая половина марта	18 ^h

ВЕСЕННЕЕ НЕБО

ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

- | | |
|------|----------|
| ● -1 | ● 3 |
| ● 0 | ● 4 |
| ● 1 | ● 5 |
| ● 2 | ○ перем. |



ВРЕМЯ НАБЛЮДЕНИЯ

Вторая половина марта 23^h

Первая половина мая 21^h

Первая половина апреля 23^h

Вторая половина мая 20^h

Вторая половина апреля 22^h

Первая половина июня 19^h

С 1 апреля по 30 сентября — время летнее

ЛЕТНЕЕ НЕБО

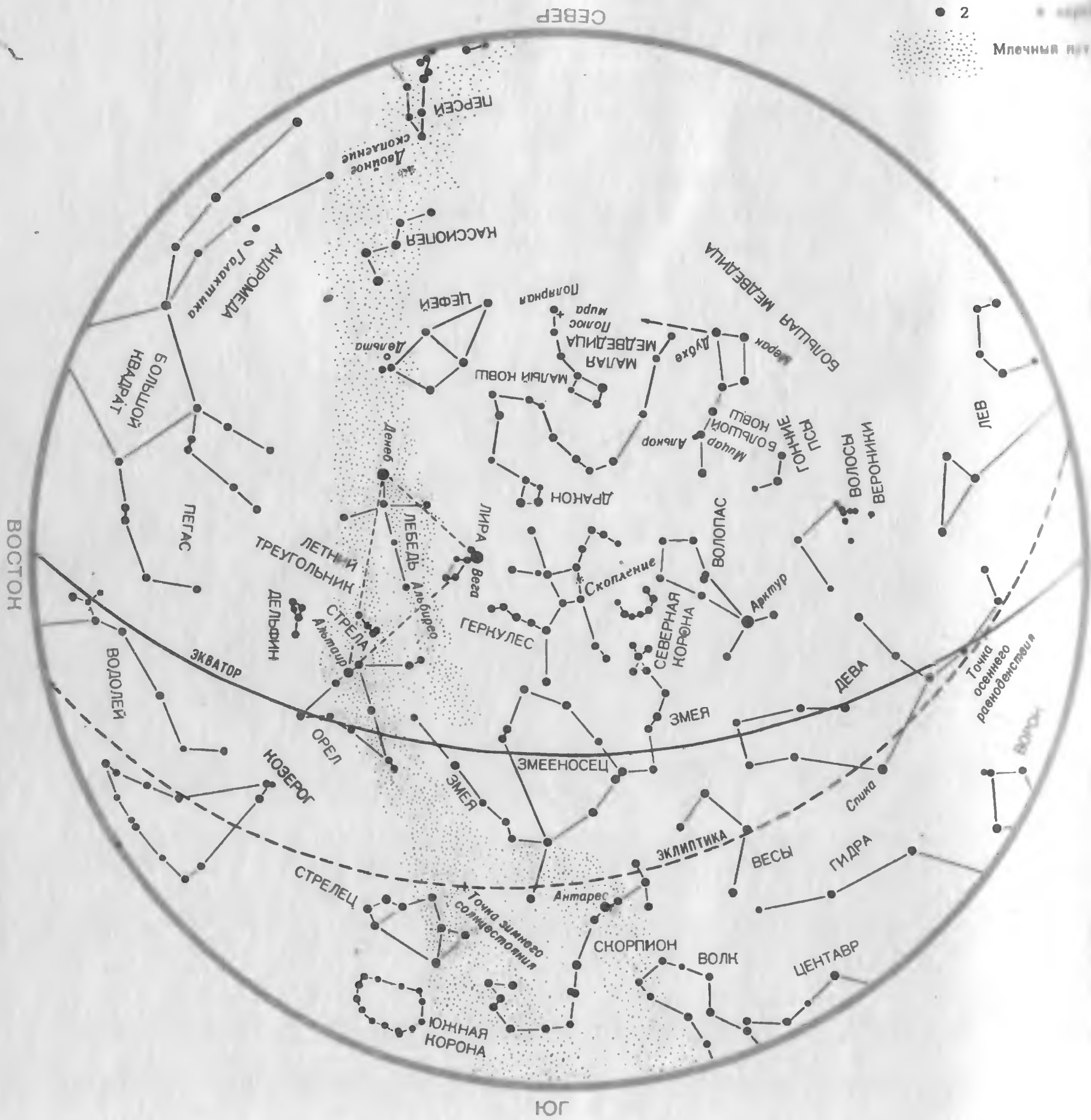
ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЩАНИИ

● -1

1

2

МЛОЧНАЯ АТ



ВРЕМЯ НАБЛЮДЕНИЯ

Вторая половина июня 0h

Первая половина июля 23^h

Вторая половина июля 22^h

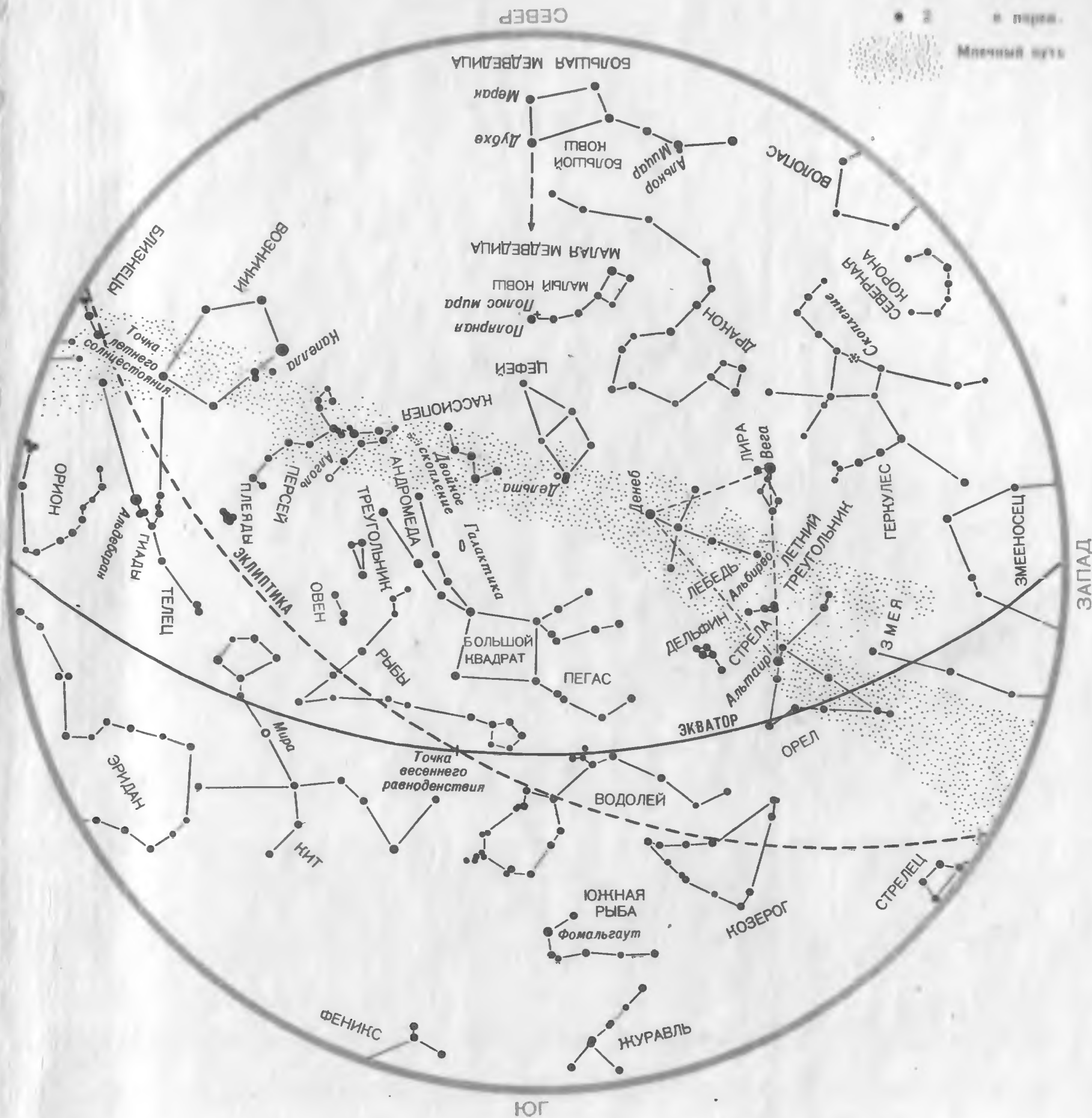
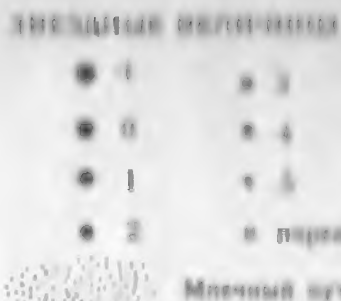
Первая половина августа 21"

Вторая половина августа 20¹¹

Первая половина сентября 1914

С 1 апреля по 30 сентября—время летнее

ОСЕННЕЕ НЕБО



ВРЕМЯ НАБЛЮДЕНИЯ

Вторая половина сентября	0 ^h	Первая половина ноября	20 ^h
Первая половина октября	22 ^h	Вторая половина ноября	19 ^h
Вторая половина октября	21 ^h	Первая половина декабря	18 ^h

С 1 апреля по 30 сентября — время летнее

Dinah L. Moché, Ph.D.

Astronomy

Professor
Department of Physics

Queensborough Community College
of the City University of New York

John Wiley
New York • Chichester • Brisbane • Toronto
Singapore

D. Моше

АСТРОНОМИЯ

Книга для учащихся

Перевод с английского
Н. В. Мамуны и М. Ю. Шевченко

Под редакцией
доктора физико-математических наук
А. А. Гурштейна

Москва
Просвещение
1985

ББК 22.6
М87

Моше Д.

М87 Астрономия: Кн. для учащихся. Пер. с англ./ Под ред.
А. А. Гурштейна.— М.: Просвещение, 1985.— 255 с., ил.

В книге в доступной для учащихся 6—8 классов средней школы форме излагаются все основные вопросы курса астрономии. Методически продуман порядок изложения материала и аппарат ориентировки. Используются специальные тесты с выбором ответа для проверки усвоения.

М 4306020000—551 137—85
103(03)—85

ББК 22.6
52

Copyright 1978, 1981 by John Wiley and Sons, Inc.

Перевод на русский язык, издательство «Просвещение», 1985 г.

Предлагаемая в переводе на русский язык книга профессора Городского университета Нью-Йорка Дины Л. Моше представляет собой самоучитель по астрономии для всех желающих познакомиться с основами этой науки и не имеющих специальной подготовки ни в области математики, ни в области физики. Тем самым применительно к условиям в СССР книга Дины Моше адресована преимущественно учащимся среднего и старшего школьного возраста. Она может быть использована как введение в астрономию и космические исследования либо как дополнительный материал к другим доступным учебникам. Педагогам, руководителям астрономических кружков и методистам она будет интересна как своеобразная методическая разработка, тем более что порядок изложения материала автором и сам характер его отбора перекликаются с советским школьным курсом астрономии для X класса.

Ценными в книге являются описания простейших экспериментов, позволяющие глубже усвоить используемые понятия, а также специальные звездные карты, с которыми можно выйти под открытое небо и на практике увидеть изучаемые небесные объекты.

Книга Дины Моше издана в большой серии самоучителей. Издательский опыт в подготовке такого рода самоучителей плодотворно сказался на общем построении книги — ее компактности, простоте и ясности иллюстраций, отточенности и образности языка, наличии вопросов для самоконтроля. Большую роль, без сомнения, сыграл и опыт автора в популяризации науки: Дина Моше преподает физику и астрономию, ее перу принадлежат многочисленные научно-популярные книги.

Книга Д. Моше впервые увидела свет в 1978 г. Русский перевод осуществлен с ее второго издания 1981 г., в котором появились добавления, исправления и улучшения.

Работа учащихся с данным самоучителем по своему характеру будет отличаться от работы с учебником; она требует большей сосредоточенности и несколько иного подхода. Можно, на-

пример, рекомендовать следующее: при чтении вопроса предварительно закройте ответ чистым листом бумаги; обдумав ответ, запишите его и только после этого сравните с ответом в самоучителе.

При подготовке русского издания переводчики и редактор стремились как можно полнее сохранить строй книги, вместе с тем сделав ее удобной для практического использования советскими школьниками. В этих целях список рекомендованной литературы на английском языке был заменен на аналогичный список литературы, изданной в СССР. Во всех необходимых случаях принятые в англоязычных странах меры в милях, ярдах, футах, дюймах, фунтах, унциях и т. п. переведены в метрическую систему.

Для сведения напомним перевод некоторых англо-американских единиц измерений в метрические:

1 дюйм = 25,4 мм,

1 фут = 12 дюймам = 304,8 мм,

1 ярд = 3 футам = 36 дюймам = 91,44 см,

1 миля (сухопутная) = 1760 ярдам = 1609 м,

1 морская миля = 6080 футам = 1853,2 м.

В очень немногих случаях вопросы для самоконтроля переформулированы таким образом, чтобы они отвечали условиям наблюдений с территории СССР. Сделаны также отдельные уточнения, связанные с устоявшейся русской терминологией. Мы не хотели усложнять текст дополнительными комментариями, и поэтому краткие примечания редактора помещены лишь в исключительных случаях.

Думается, что перевод на русский язык книги Д. Моше способен оказать позитивное влияние на повышение интереса к астрономии учащихся 6—8 классов, на постановку самостоятельных астрономических наблюдений.

А. Гуштейн

ВЗГЛЯД НА ВСЕЛЕННУЮ

Этот большой мир существует независимо от нас, людей, и стоит перед нами как огромная вечная загадка, доступная, однако, по крайней мере отчасти, нашему восприятию и нашему разуму.

А. Эйнштейн

Ясной ночью там, где небо действительно темное, вы можете увидеть невооруженным глазом около двух тысяч звезд.

Когда вы смотрите на звезды, то вправе задуматься над вопросами: каково устройство или предназначение звездного неба? Каково мое место в безбрежном космосе? Не думайте, что вы одни задаете эти вопросы. Красота и таинственность мироздания привлекала людей всегда.

Астрономия древнейшая из наук и самая молодая. Волнующие открытия достигаются сегодня с помощью самых сложных приборов и методов. И тем не менее преданные делу любители могут еще внести в астрономию важный вклад.

Эта книга научит вас основам астрономии. По мере того как ваши знания станут углубляться, вы сможете получать больше радости от наблюдений звезд, глубже вникать в то, что читаете, начиная от астрономии древности до новейших астрофизических теорий.

При самостоятельном изучении астрономии обращайтесь внимание на условные значки, которые обозначают:

★ пользуйтесь *звездными картами* (на форзацах книги). Эти специальные, легко читаемые звездные карты помогут вам найти и опознать наиболее интересные объекты на небе;

✍ проводите дома простейшие *опыты и наблюдения*, которые проиллюстрируют основную идею.

А теперь сосредоточьтесь и начинайте читать.

Наш дом — планета Земля, крохотный бело-голубой шар диаметром примерно 13 000 км, висящий в безбрежном пространстве. Земля принадлежит Солнечной системе.

Солнечная система состоит из единственной звезды — нашего Солнца — и девяти планет с их спутниками, тысяч астероидов, комет, бесчисленных частичек пыли, и все это обращается вокруг Солнца. Поперечник Солнечной системы составляет примерно $13 \cdot 10^9$ км.

Солнце и Солнечная система расположены в одном из гигантских спиральных рукавов Галактики, называемой Млечным Путем. Наша Галактика содержит более 100 млрд. звезд, межзвездный газ и пыль, и все это обращается вокруг ее центра. Поперечник Галактики составляет примерно 100 000 световых лет (один миллиард миллиардов километров).

Рис. 1.1. Земля.



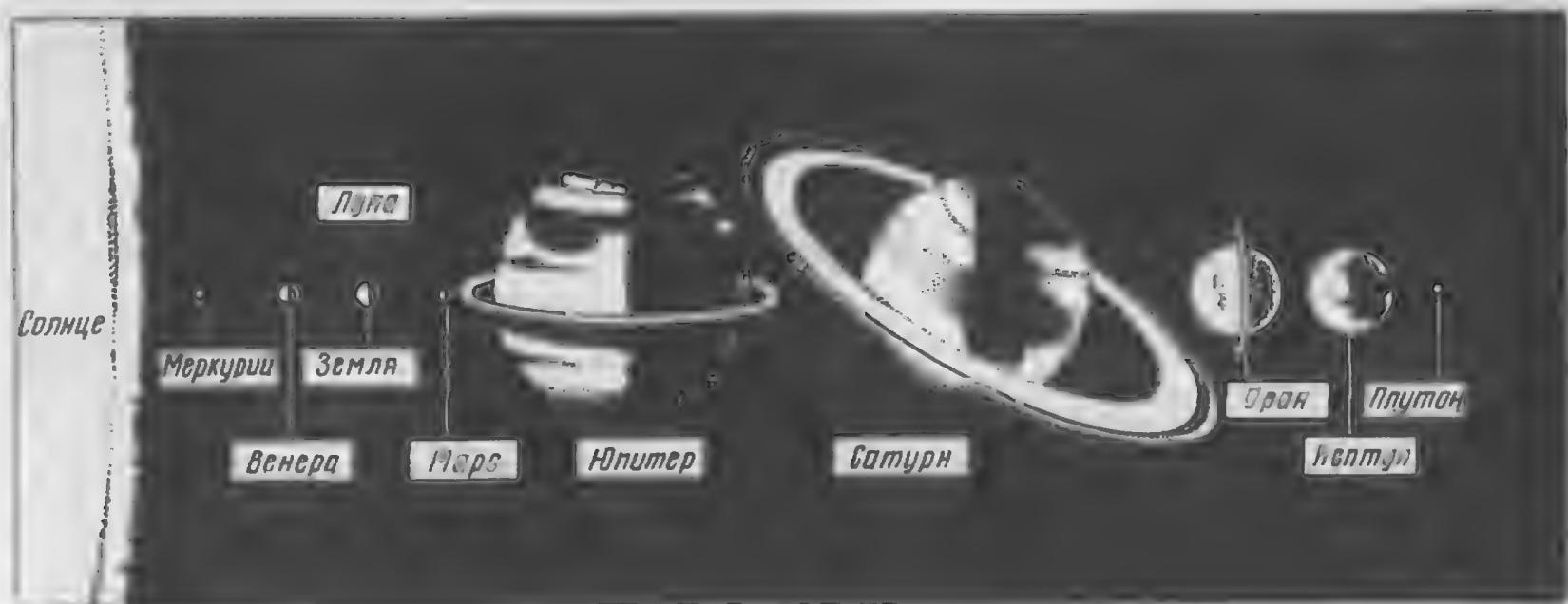


Рис. 1.2. Солнечная система.

Рис. 1.3. Место Солнечной системы в Галактике «Млечный Путь».

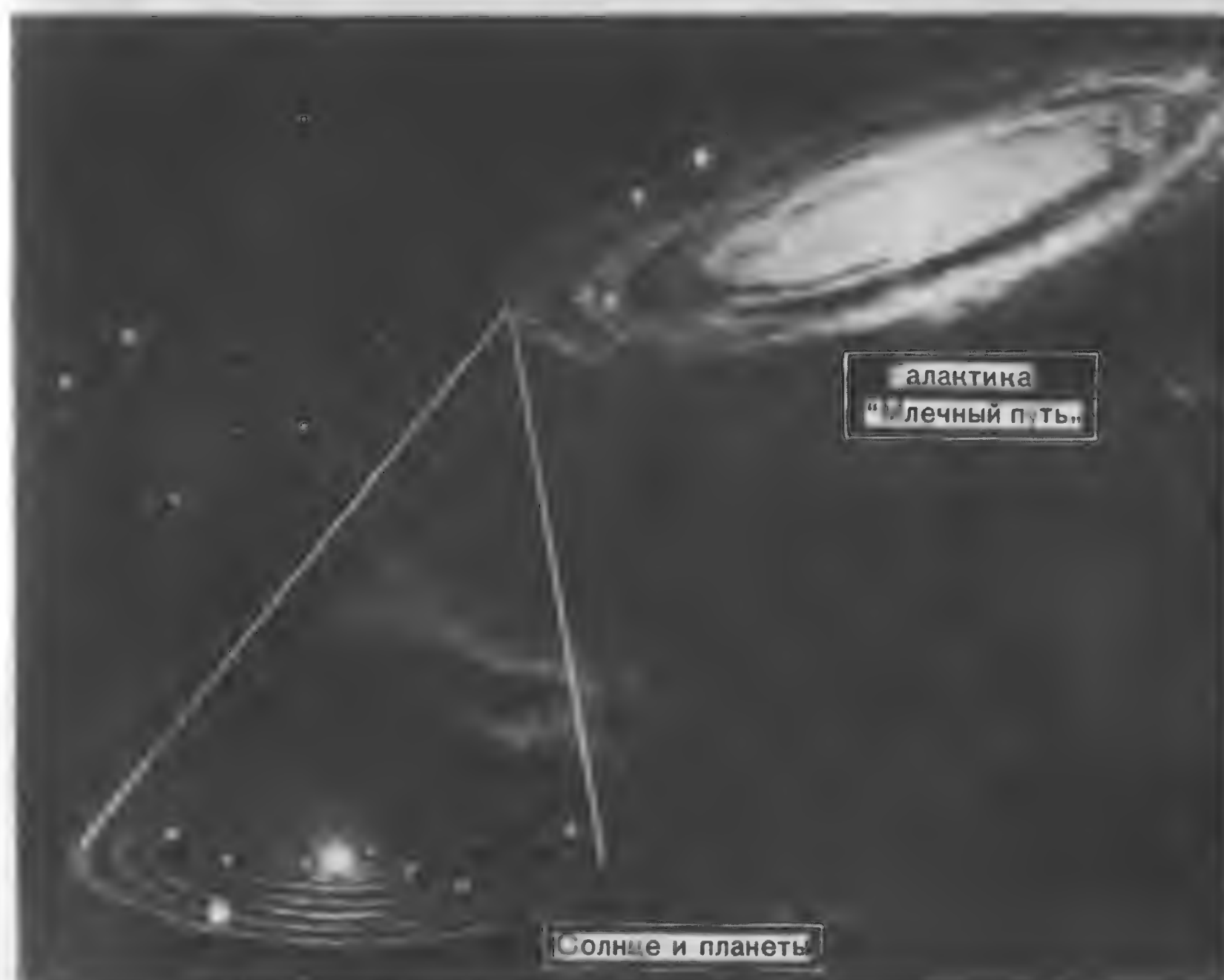




Рис. 1.4. Галактики.

Наша Галактика — это лишь одна из миллионов галактик, которые заполняют все окружающее нас пространство вплоть до края обозримой Вселенной примерно на 12 млрд. световых лет ($116 \cdot 10^{21}$ км).

ИЗУЧЕНИЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА

1. Ясной темной ночью небо предстает как гигантская опрокинутая чаша, усыпанная звездами, и нам становится понятно, почему древние считали звездное небо огромной сферой, вращающейся вокруг Земли. Сегодня мы знаем, что звезды — это далекие, ярко горящие солнца, находящиеся в пространстве на различных расстояниях от Земли. Земля же за сутки совершает один оборот вокруг своей оси (воображаемой линии, проходящей через северный и южный полюса и центр Земли).

Но представление о небе как об огромном, пустом, вращающемся глобусе с Землей в центре и небесными объектами на его внутренней поверхности остается удобным. Астрономы называют такую воображаемую картину неба *небесной сферой*.

Астрономы используют небесную сферу для отнесения к ней положений звезд, галактик, путей Солнца, Луны и планет. Когда вы будете смотреть на звезды, воображайте, что смотрите на них изнутри небесной сферы.

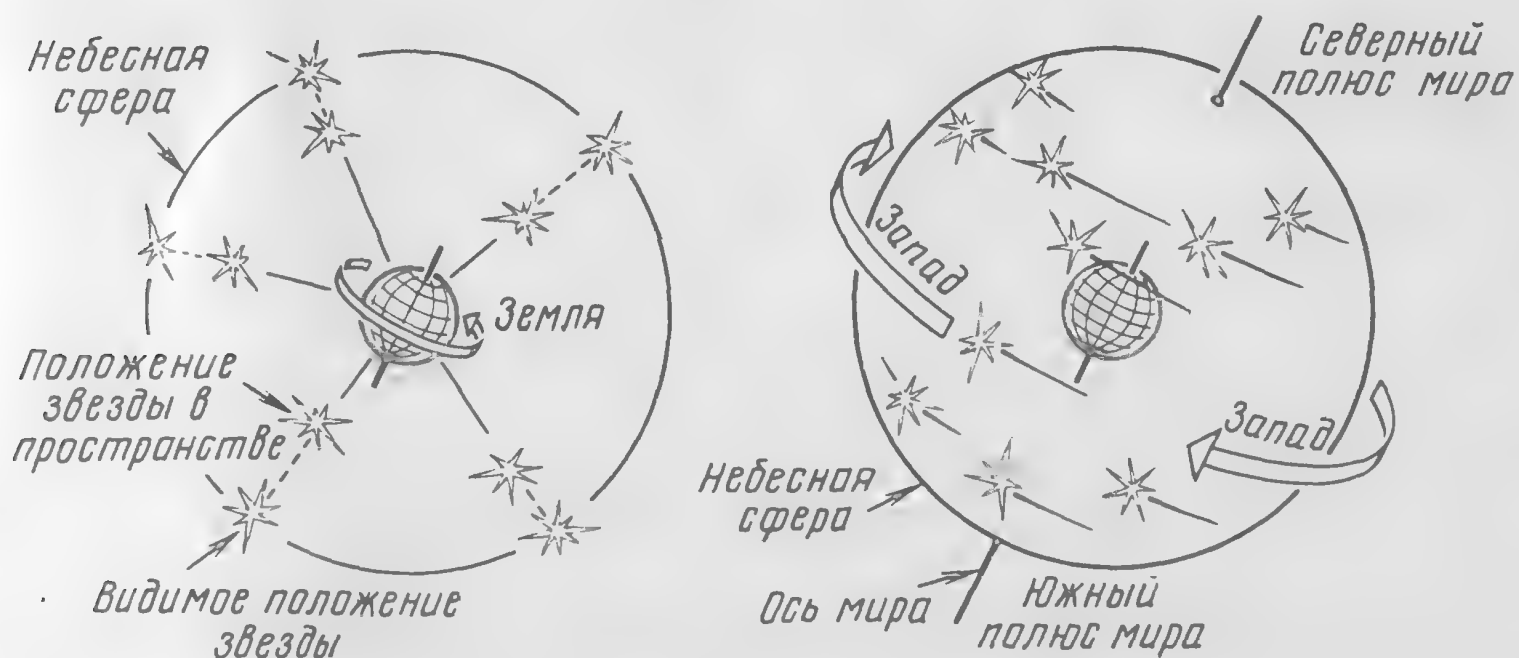


Рис. 1.1 Небесная сфера.

Почему при наблюдении с Земли вам кажется, что в течение ночи звезды перемещаются по небесной сфере?

Потому что Земля вращается вокруг своей оси внутри небесной сферы

★ 2. Когда вы станете проводить первые наблюдения звезд, может показаться, что вы никогда не сумеете отличить одну звезду от другой. Не пугайтесь, сумеете. На форзацах помещены звездные карты, составленные специально для начинающих любителей астрономии, живущих в средних широтах севернее 40° с. ш.

Все небо можно разбить на участки, внутри которых звезды как бы группируются в различные фигуры. Эти участки неба называются *созвездиями*. Умение отыскивать основные созвездия поможет вам ориентироваться и в отдельных звездах.

В Приложении 1 приводится список некоторых из 88 официально принятых созвездий. Наиболее значительные, хорошо известные созвездия, сияющие в наших широтах, представлены на звездных картах.

Тысячи лет назад люди называли созвездия в честь животных (например, Лев) или мифологических героев (например, Орион — Охотник). Более двух тысячелетий назад древние греки дали имена сорока восьми созвездиям.

Сегодня астрономы используют эти древние названия созвездий просто как обозначения 88 участков неба. С помощью созвездий они отыскивают на небе те или иные объекты. Например, если сказать, что Марс находится в созвездии Льва, то это поможет найти планету так же легко, как и указание, что Хьюстон расположен в штате Техас.

Посмотрите на звездные карты. Обратите внимание на пунктирную линию, обозначающую *эклиптику* (видимый путь Солнца на фоне звезд). Двенадцать созвездий, расположенных вдоль эклиптики, называются созвездиями Зодиака (мы поговорим о них в разделе 1.17). Напишите, используя звездные карты, названия двенадцати зодиакальных созвездий.

Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей.

★ 3. Внимательно изучите звездные карты. Вы заметите, что некоторые созвездия присутствуют на всех четырех картах. На широте примерно 40° с. ш. эти *околополярные созвездия* наблюдаются над горизонтом в северной стороне неба в течение всего года.

Напишите названия трех околополярных созвездий, расположенных рядом с Полярной звездой, и нарисуйте их очертания.

Три околополярных созвездия, которые вы сможете найти на картах,— это Кассиопея, Цефей и Малая Медведица. После того как вы запомните их очертания, попытайтесь найти их над горизонтом в северной стороне неба. Примечание: севернее 40° с. ш. Большая Медведица и Дракон также никогда не заходят под горизонт и считаются околополярными созвездиями.



4. Во время наблюдений под открытым небом для отыскания созвездий и звезд используйте звездные карты.

Выберите ту, которая дает картину звездного неба в месяц и час ваших наблюдений. Поверните карту таким образом, чтобы слово, обозначающее часть горизонта, куда вы стоите лицом, оказалось внизу. Тогда звездная карта представит картину неба, которую можно наблюдать от горизонта до *зенита* (точка на небесной сфере, расположенная прямо над головой).

Например, если в первых числах апреля в 22 ч 00 мин вы стоите лицом к северу, поверните карту так, чтобы слово «север» было внизу. Над горизонтом вы сможете наблюдать Кассиопею, Цефея, малый ковш в Малой Медведице и большой ковш в Большой Медведице.

Назовите известное созвездие, которое сияет на небе в южной стороне в 20 ч 00 мин в начале февраля.

Орион.



5. Созвездия над южной частью горизонта перемещаются в течение ночи и меняются в зависимости от времени года. Поверните карту так, чтобы слово «юг» было внизу. Используйте звездную карту для отыскания наиболее известных созвездий, которые появляются в различные времена года (такие, как Лев весной и Орион зимой).

Найдите и зарисуйте три созвездия, которые можно видеть в это время года.

Ответ будет зависеть от времени года. Например, если вы читаете эту книгу весной, то можно выбрать созвездия Льва, Девы и Волопаса.



6. Уже давно более 50 ярких звезд получили собственные названия: арабские, греческие или латинские. Имена ярких или знаменитых звезд напечатаны на звездных картах мелкими буквами. Хотя многие другие звезды также имеют имена, астрономы обычно обозначают их буквами греческого алфавита или номерами из каталогов, но эти сведения на картах не приводятся.

Назовите три яркие звезды, которые образуют вершины знаменитого летнего треугольника. Воспользуйтесь звездной картой на летнее время. Пронаблюдайте летний треугольник в течение лета.

Вега, Денеб, Альтаир.

7. Некоторые звезды на небе выглядят ярче других. *Звездной величиной* называют меру того, насколько ярким выглядит небесный объект при наблюдениях с Земли. Небесные объекты могут казаться яркими потому, что они излучают много света, или потому, что они расположены близко к Земле.

Во II в. до н. э. греческий астроном Гиппарх разделил все звезды по блеску на шесть классов, или звездных величин. К первой звездной величине были отнесены самые яркие объекты, а к шестой — самые слабые.

Современные астрономы также используют подобную классификацию. Но вместо глазомерной оценки блеска для его определения применяются специальные приборы — фотометры. Звездные величины самых ярких звезд отрицательные: самая яркая звезда неба Сириус имеет звездную величину — 1,5. А самые слабые объекты, видимые лишь в мощные телескопы, имеют звездную величину примерно до +24. Разница блеска двух объектов в одну звездную величину означает, что отношение их блеска составляет примерно 2,5. Звездные величины звезд указаны на ваших картах неба.

Пример. Звезды, у которых звездная величина равна 0, как у Веги, кажутся в 2,5 раза ярче звезд 1-й величины, таких, как Денеб, и примерно в 6,3 раза ярче Полярной, у которой 2-я звездная величина (подробнее о звездных величинах мы расскажем далее в разделе 3.14).

Что понимают астрономы под «звездной величиной»?

Насколько ярко выглядит небесное светило.

8. Чем больше вы узнаете о звездах и их движениях, тем больший интерес будут представлять их наблюдения. Небесный глобус поможет вам найти объекты на небе, так же как земной глобус помогает отыскать нужные места на Земле.

Вспомните, как работают с картой Земли. Мы рисуем земную поверхность и наносим на ней воображаемую координатную сетку. Местоположения всех точек отсчитываются от двух основных нулевых линий. Одна из них — *экватор* — это большой круг на полпути между северным и южным полюсами, который делит глобус на два равных полушария. Другая — *начальный меридиан* — проходит от полюса до полюса через Гринвич (Англия).

Воображаемые линии, параллельные экватору, называются линиями равных широт или *параллелями*. Такие же линии, проходящие через полюса, называются линиями равных долгот или *меридианами*. Расстояния на земной сфере измеряются в градусах путем деления круга на 360 частей.

На Земле можно найти любой город, если известны его координаты (широта и долгота).

С помощью рисунка 1.2 найдите экватор, начальный меридиан, 30° с. ш. и 30° в. д.;

(а) 30° с. ш.; (b) 30° в. д.; (с) экватор; (d) начальный меридиан.

9. Подобно тому как наносят на земной глобус линии широт и долгот, астрономы наносят воображаемые вертикальные и горизонтальные линии на небесную сферу. Угловые расстояния вверх и вниз от небесного экватора называются *склонениями* (δ). Угловое расстояние от нулевой точки на небесном экваторе (точки весеннего равноденствия), отсчитываемое в восточном направлении, называется *прямым восхождением* (α). Прямое восхождение обычно измеряется в часах, причем $1^h = 15^\circ$. Так же как на Земле любой город может быть найден по его земным координатам — широте и долготе, любой небесный объект может быть найден по его небесным координатам — прямому восхождению и склонению.

Определите координаты звезды, показанной на рисунке 1.3.

$$\alpha = 20^h; \delta = +30^\circ.$$

10. Каждая звезда занимает на небесной сфере вполне определенное место. Прямые восхождения и склонения звезд с течением времени изменяются очень мало и могут быть определены с помощью звездного глобуса или звездных атласов (см., например, таблицу 1.1. Мы еще обратимся к этой таблице позже, когда в последующих главах глубже познакомимся с содержащимися в ней данными).

Положение Солнца, Луны и планет на небесной сфере постоянно изменяется. Их координаты приводятся в периодических астрономических изданиях (см. список литературы).

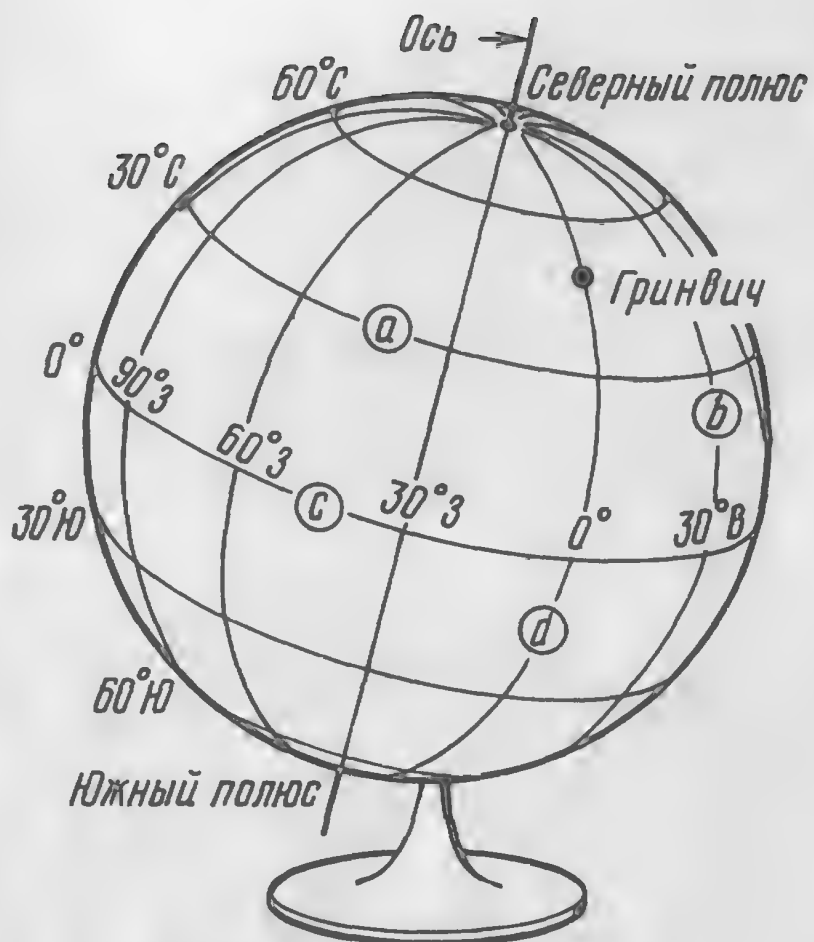


Рис. 1.2. Глобус Земли.

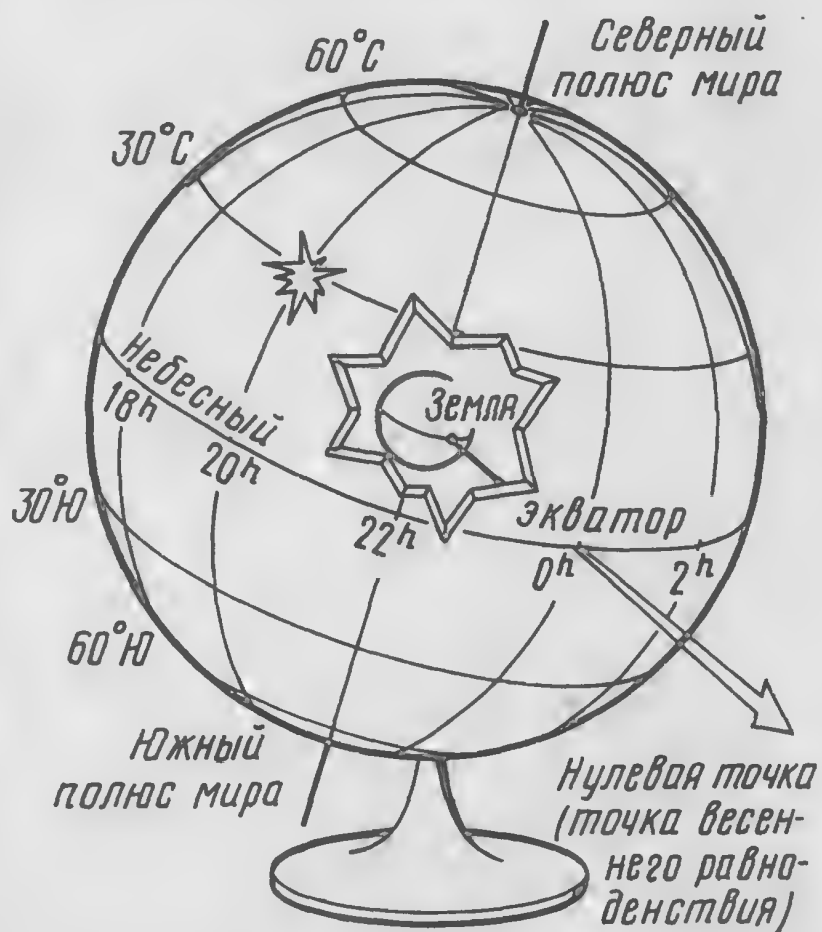


Рис. 1.3. Небесный глобус.

Таблица 1. 1. Двадцать самых ярких звезд в порядке уменьшения блеска

Название	Прямое восхождение		Склонение		Расстояние, св. год	Спектральный класс	Видимая звездная величина	Абсолютная звездная величина
	ч	мин	град	мин				
Сириус	6	42,9	—16	39	8,8	A1	—1,5	+1,4
Канопус	6	22,8	—52	40	98	F0	—0,7	—4,7
Арктур	14	13,4	+19	27	36	K2	—0,1	—0,2
Альфа Центавра	14	36,2	—60	38	4,3	G2	0,0	+4,4
Вега	18	35,2	+38	44	26	A0	0,0	+0,5
Капелла	5	13,0	+45	57	46	G8	+0,1	—0,6
Ригель	5	12,1	—8	15	900	B8	+0,1	—7,0
Процион	7	36,7	+5	21	11	F5	+0,4	+2,7
Ахернар	1	35,9	—57	29	150	B5	+0,5	—2,2
Хадар	14	0,3	—60	08	392	B1	+0,6	—5,0
Альтаир	19	48,3	+8	44	16	A7	+0,8	+2,3
Бетельгейзе	5	52,5	+7	24	700	M2	+0,8	—6,0
Альдебаран	4	33,0	+16	25	68	K5	+0,9	—0,7
Альфа Ю. Креста	12	23,8	—62	49	350	B2	+1,0	—3,5
Спика	13	22,6	—10	54	230	B1	+1,0	—3,4
Антарес	16	23,6	—26	19	400	M1	+1,0	—4,7
Поллукс	7	42,3	+28	09	35	K0	+1,2	+1,0
Фомальгаут	22	54,9	—29	53	23	A3	+1,2	+2,0
Денеб	20	39,7	+45	06	1400	A2	+1,25	—7,3
Бета Ю. Креста	12	44,8	—59	25	500	B0	+1,3	—4,7

Можете ли вы объяснить, почему на протяжении любого достаточно длительного промежутка времени звезды могут быть найдены на небесной сфере по тем же самым координатам, в то время как Солнце, Луна и планеты постоянно изменяют свое положение?

Звезды слишком далеки от Земли, чтобы их движение было заметно невооруженным глазом, хотя они двигаются в различных направлениях со скоростями во много километров в секунду. Солнце же, Луна и планеты гораздо ближе к Земле. Мы видим их перемещение на фоне далеких звезд.

11. Круги склонения и прямого восхождения зафиксированы на небесной сфере и двигаются вместе с ней, когда она вращается вокруг наблюдателя. Но есть линии, положение которых зависит только от местонахождения наблюдателя, и они вместе с ним остаются неподвижными, в то время как все небесные объекты двигаются.

Математический горизонт представляет собой большой круг на небесной сфере на угловом расстоянии 90° от точки *зенита* данного наблюдателя. Зенит — это точка на небесной сфере, расположенная прямо над головой наблюдателя. Хотя небесная сфера вся усеяна звездами, наблюдатель может видеть только те

из них, которые находятся над горизонтом. Большой круг, проходящий через зенит и точки севера и юга на горизонте данного наблюдателя, называется **небесным меридианом**. (Над горизонтом находится только половина небесного меридиана.)

Пользуясь рисунком 1.4, найдите зенит, математический горизонт и небесный меридиан наблюдателя.

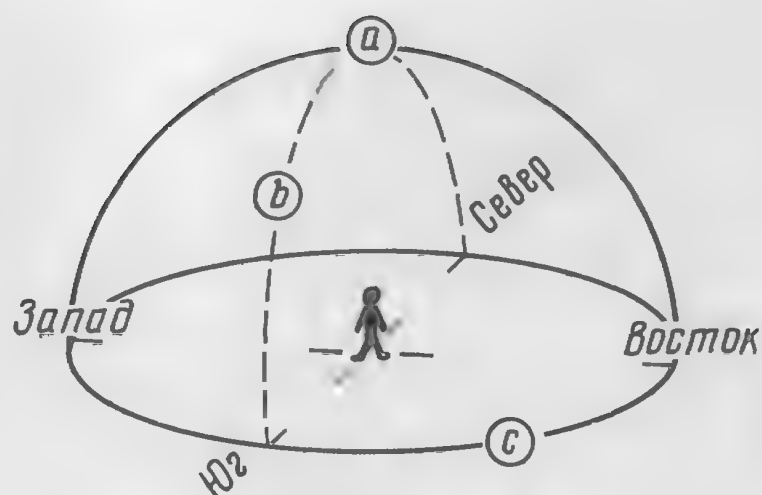


Рис. 1.4. Вид небесной сферы с точки зрения наблюдателя.

(a) зенит; (b) небесный меридиан; (c) горизонт.

12. Выйдите под открытое небо и, представив себя в центре огромной небесной сферы, попытайтесь определить положение точки зенита, математического горизонта и небесного меридиана.

Лучше всего это сделать темной, ясной, звездной ночью. Встаньте лицом к югу. В течение ночи несколько раз пронаблюдайте звезды около небесного меридиана. Опишите ваши наблюдения.

Звезды движутся с востока на запад и *пересекают* небесный меридиан. Это происходит из-за вращения Земли с запада на восток.

13. Звезды, которые вы наблюдаете, и характер их видимых перемещений зависят от широты места наблюдения. На разных широтах мы видим разные звезды.

Если в одну и ту же ночь посмотреть на звездное небо с Северного и с Южного полюсов Земли, то будут видны совер-

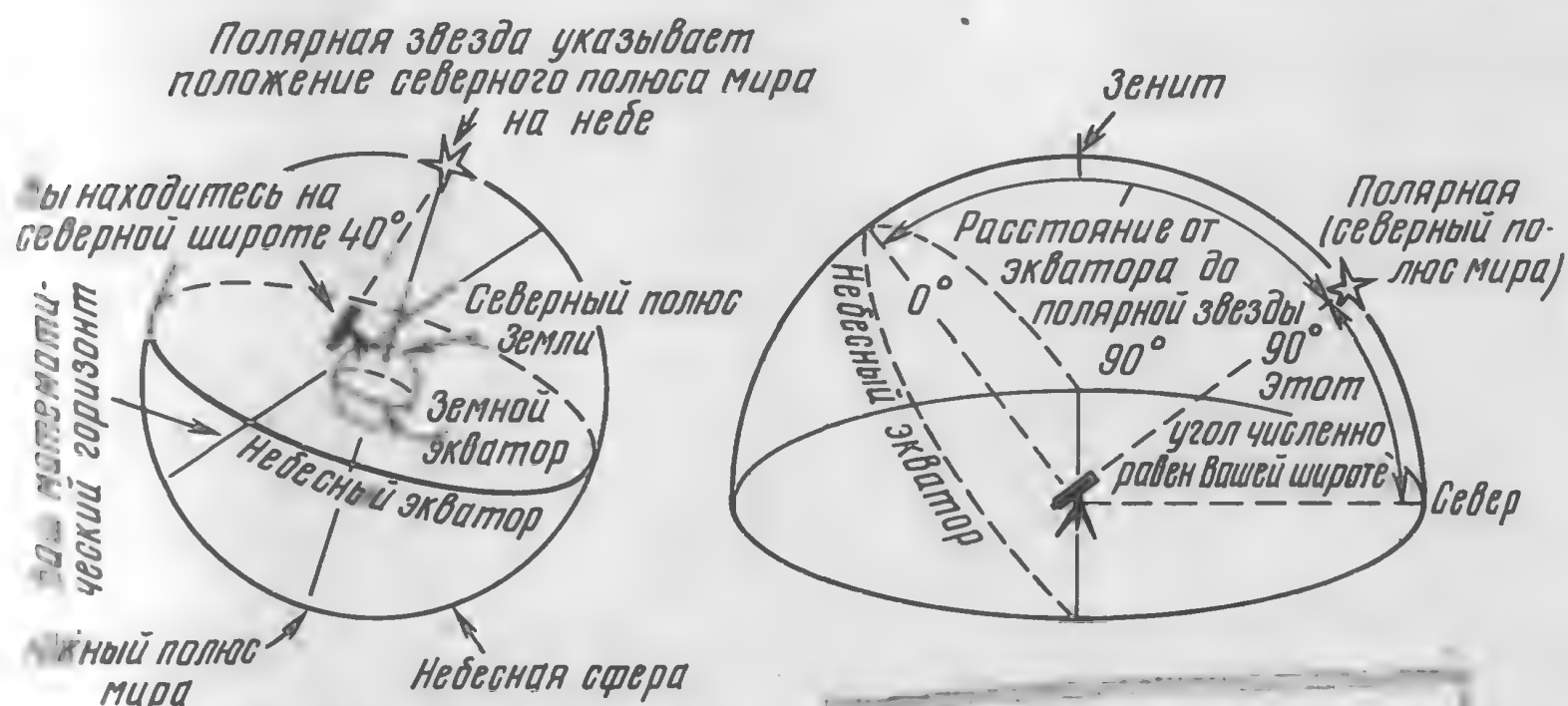


Рис. 1.5. Ориентация небесной сферы в зависимости от места наблюдения.

шенно разные звезды. Земля загораживает часть звездного неба и для наблюдателя делит его на две половины.

Ориентироваться на небесной сфере можно с помощью сторон горизонта и точки зенита. Северный полюс мира расположен над точкой севера горизонта на высоте, равной географической широте места наблюдения. Местоположение северного полюса мира «отмечено» на небе Полярной звездой, которая отстоит от него примерно на 1° .

Где бы вы искали Полярную звезду, если бы находились в следующих местах:

(а) на Северном полюсе? (b) на экваторе? (с) на широте 40° с. ш.? (d) у себя дома?

(а) в точке зенита; (b) на горизонте; (с) на высоте 40° над горизонтом; (d) над северной точкой горизонта на высоте, равной географической широте вашего дома.

14. Из-за своего положения вблизи северного полюса мира Полярная звезда уже давно используется для навигации. Это не очень яркая звезда. Ее можно отыскать с помощью двух «указательных» звезд Дубхе и Мерак в ковше Большой Медведицы.

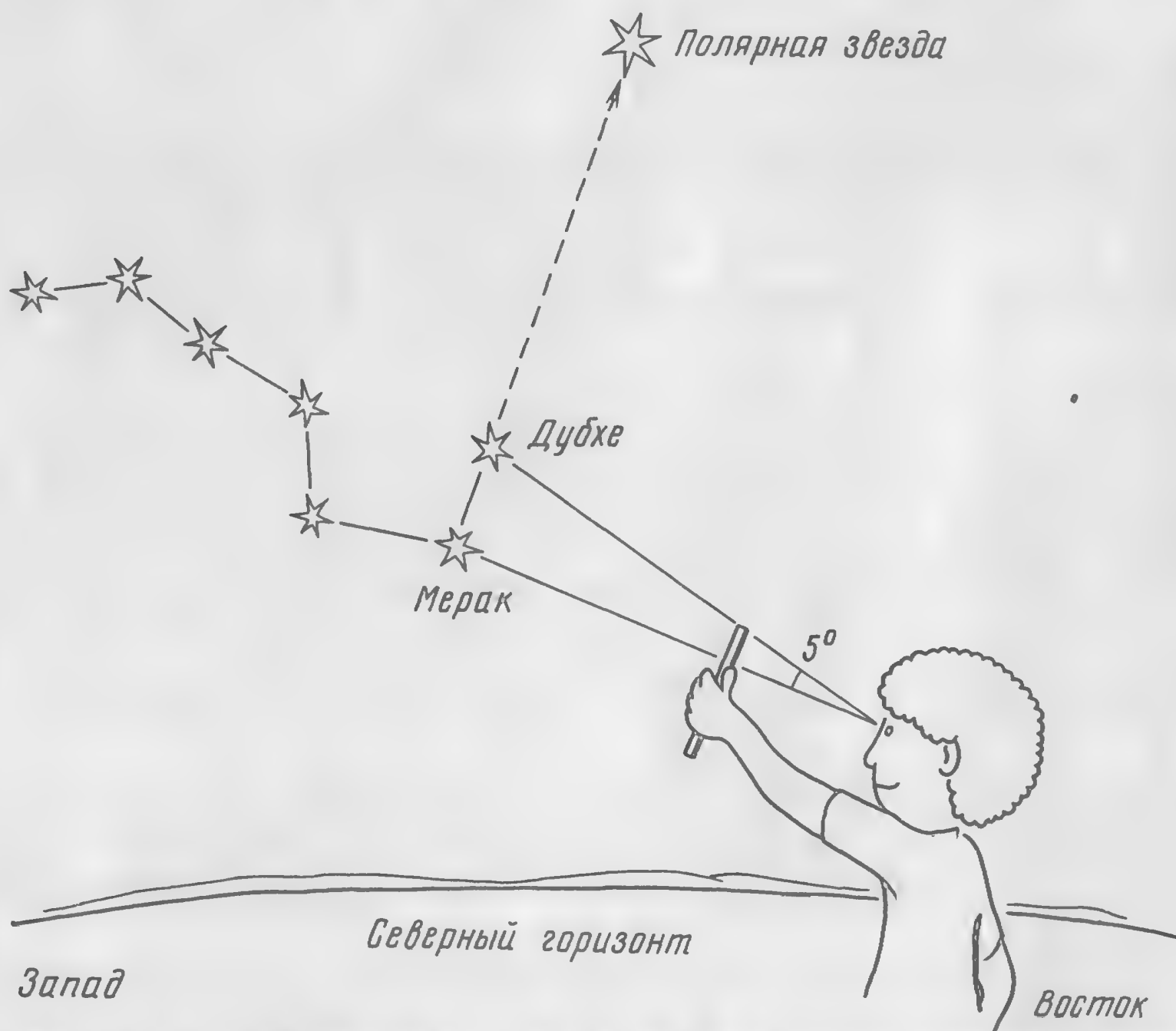


Рис. 1.6. Способ отыскания Полярной звезды и определение расстояний на небе.

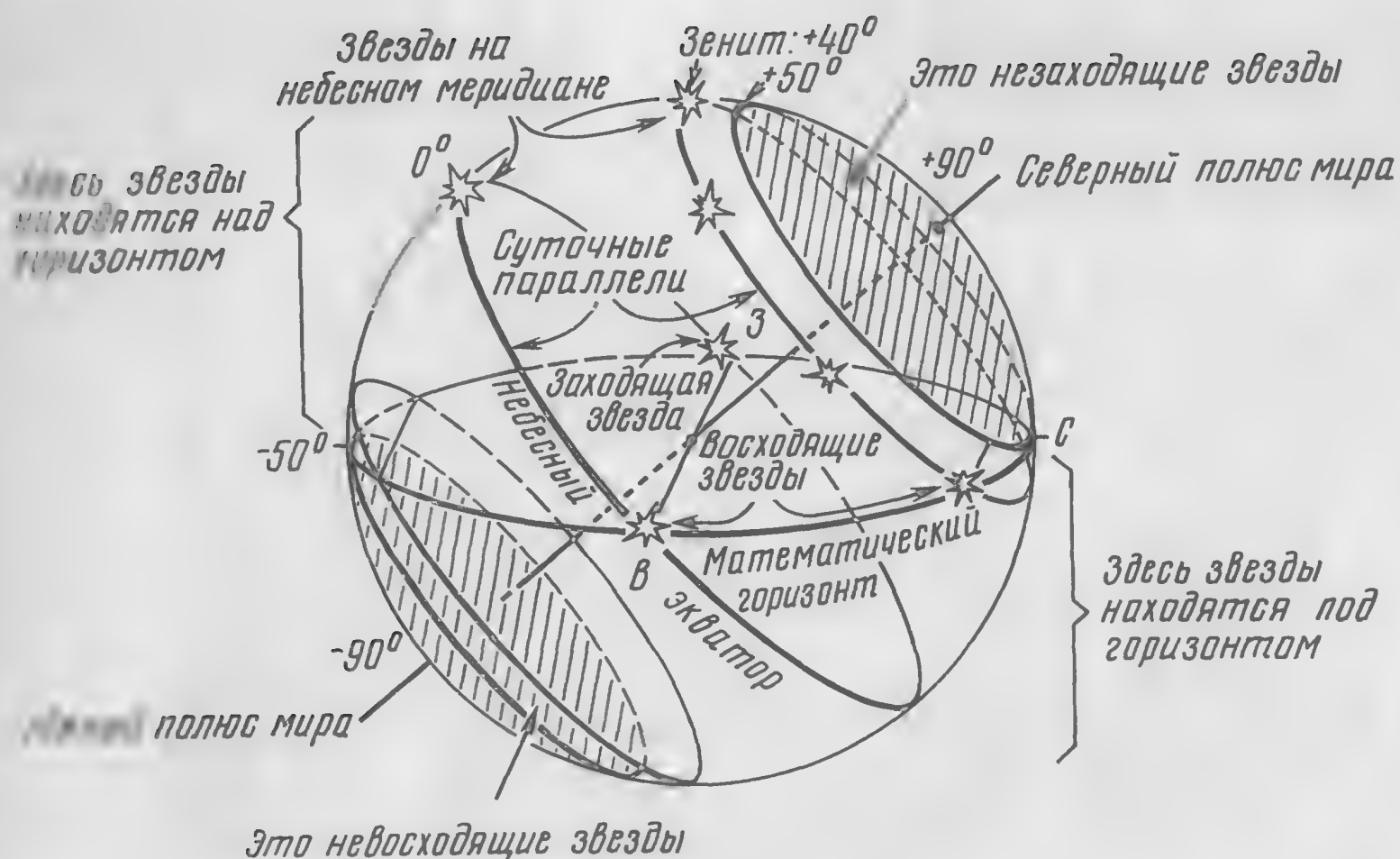


Рис. 1.7. Небесная сфера на северной широте 40°.

При проведении астрономических наблюдений полезно помнить, что угловое расстояние между этими двумя звездами составляет на небесной сфере примерно 5° . Это поможет вам оценивать расстояния на небесной сфере «на глаз».

При наблюдении звезд с вращающейся Земли видно, что они описывают вокруг полюсов суточные круги. Но на разных географических широтах полюс небесной сферы расположен на разных высотах над горизонтом. Таким образом, на разных широтах длина суточного пути звезды над горизонтом различная.

Схема (рис. 1.7) показывает суточные круги звезд на широте 40° с. ш. Высота северного полюса мира над горизонтом составляет 40° . Если астрономические наблюдения проводятся на этой широте, то можно увидеть, что: 1 — звезды со склонением от $+50^\circ$ до $+90^\circ$ никогда не заходят, например звезды созвездия Большой Медведицы. Они называются *незаходящими*; 2 — звезды со склонением от -50° до -90° (например, звезды созвездия Южного Креста) никогда не появляются над горизонтом; 3 — все другие звезды восходят и заходят. Звезды со склонением, равным 40° (широта места наблюдения), при пересечении небесного меридиана проходят через точку зенита.

Предположим теперь, что вы находитесь на широте 50° с. ш. В таблице 1.1 возьмите значения склонений ярких звезд Капелла, Веги и Канопуса. Какие из этих звезд будут наблюдаться над горизонтом:

(а) всегда? (б) иногда? (с) никогда?

(а) Капелла ($\delta = +45^\circ 57'$). Для наблюдателя на широте 50° звезды со склонением от $+40^\circ$ до $+90^\circ$ всегда находятся над го-

ризонтом; (b) Вега ($\delta = +38^\circ 44'$). Эта звезда восходит и заходит; (c) Канопус ($\delta = -52^\circ 40'$) находится в южной половине небесной сферы между суточными кругами -40° и -90° . Эта звезда никогда не видна.

15. Опишите, какие суточные круги описывали бы звезды, если бы вы проводили астрономические наблюдения: (a) на Северном полюсе; (b) на экваторе. Обоснуйте ваши ответы. Указание: помните, что небесная сфера вращается вокруг полюсов мира.

(a) Видимое движение всех звезд происходит по кругам, параллельным горизонту. Северный полюс мира при наблюдении с Северного полюса Земли находится в зените. (b) Все звезды восходят под прямыми углами к горизонту в восточной части неба и также заходят за горизонт в западной. Небесная сфера вращается вокруг оси, проходящей через полюса мира, на экваторе расположенные точно на линии горизонта.

16. Вид звездного неба изменяется из-за суточного вращения Земли. Каждой последующей ночью по сравнению с предыдущей звезды предстают перед нами немного сдвинутыми к западу. От вечера к вечеру одна и та же звезда восходит на 4 мин раньше. За 30 дней эти 4 мин дают разницу в 2 ч. Когда звезда восходит днем, ее свет теряется в ярком свете Солнца.

Таким образом, звезды заметно изменяют свое положение из месяца в месяц и из сезона в сезон. За 12 месяцев эти 4 каждодневные минуты составят 24 ч. Поэтому через год вид звездного неба повторится.

Изменение вида звездного неба в зависимости от времени года происходит вследствие обращения Земли вокруг Солнца. Каждый год Земля делает один оборот вокруг Солнца.

Попытайтесь представить себе, что вы путешествуете на Земле вокруг Солнца внутри небесной сферы и при этом проводите наблюдения. По мере того как Земля движется по своей орбите, ваш взгляд будет проходить по разным звездам на ночном небе. В течение года луч зрения опишет по небесной сфере полный круг.

(a) Если звезда находилась в точке зенита в 9 ч вечера 1 сентября, в какое время она будет в зените 1 марта?



Рис. 1.8. Эклиптика.

(b) Сможете ли вы ее видеть? Ответ обоснуйте.

(a) Около 9 ч утра, так как в каждый последующий месяц звезды восходят примерно на два часа раньше, чем в предыдущий.

(b) Нет. В это время суток она скроется в ярких солнечных лучах.

17. Если бы звезды были видны днем, то вы видели бы, как Солнце в течение года смещается в восточном направлении на фоне звезд. *Эклиптика*, видимый путь Солнца на фоне далеких звезд, обычно наносится на звездные глобусы и карты (см., например, наши звездные карты).

Эклиптика проходит по всему небу через двенадцать созвездий, расположенных в пределах пояса шириной примерно 16° . Древние астрологи называли этот пояс созвездий *Зодиаком*.

Пояс Зодиака привлекает особое внимание потому, что Луна и планеты, когда они видны на небе, движутся также вблизи эклиптики по этим двенадцати созвездиям.

Что такое Зодиак?

Пояс из двенадцати созвездий шириной примерно 16° , проходящий через все небо; его центральной линией является эклиптика.

18. Видимое перемещение Солнца на фоне звезд в восточном направлении вызвано действительным движением Земли вокруг Солнца. Нам же кажется, что Солнце ежегодно описывает полный круг по небесной сфере.

На сколько смещается Солнце по эклиптике каждый день? Указание: используйте тот факт, что Солнце в течение года (примерно 365 дней) описывает по эклиптике круг в 360° .

Около 1° . Решение: $\frac{360^\circ}{365 \text{ дней}} \approx 1^\circ \text{ в день.}$

19. Выше всего над горизонтом Солнце поднимается летом и ниже всего зимой. Высота Солнца над горизонтом в полдень изменяется в течение года из-за того, что земная ось наклонена к плоскости орбиты Земли. В течение всего года плоскость земного экватора имеет неизменный наклон к плоскости орбиты Земли, который равен $23,5^\circ$. Поэтому по мере обращения Земли вокруг Солнца изменяется положение линии Земля — Солнце по отношению к поверхности нашей планеты в целом. Солнечные лучи падают на Землю под различными углами, вызывая смену времен года и сезонные изменения продолжительности дня и ночи.

(a) Куда повернуто северное полушарие Земли в декабре —

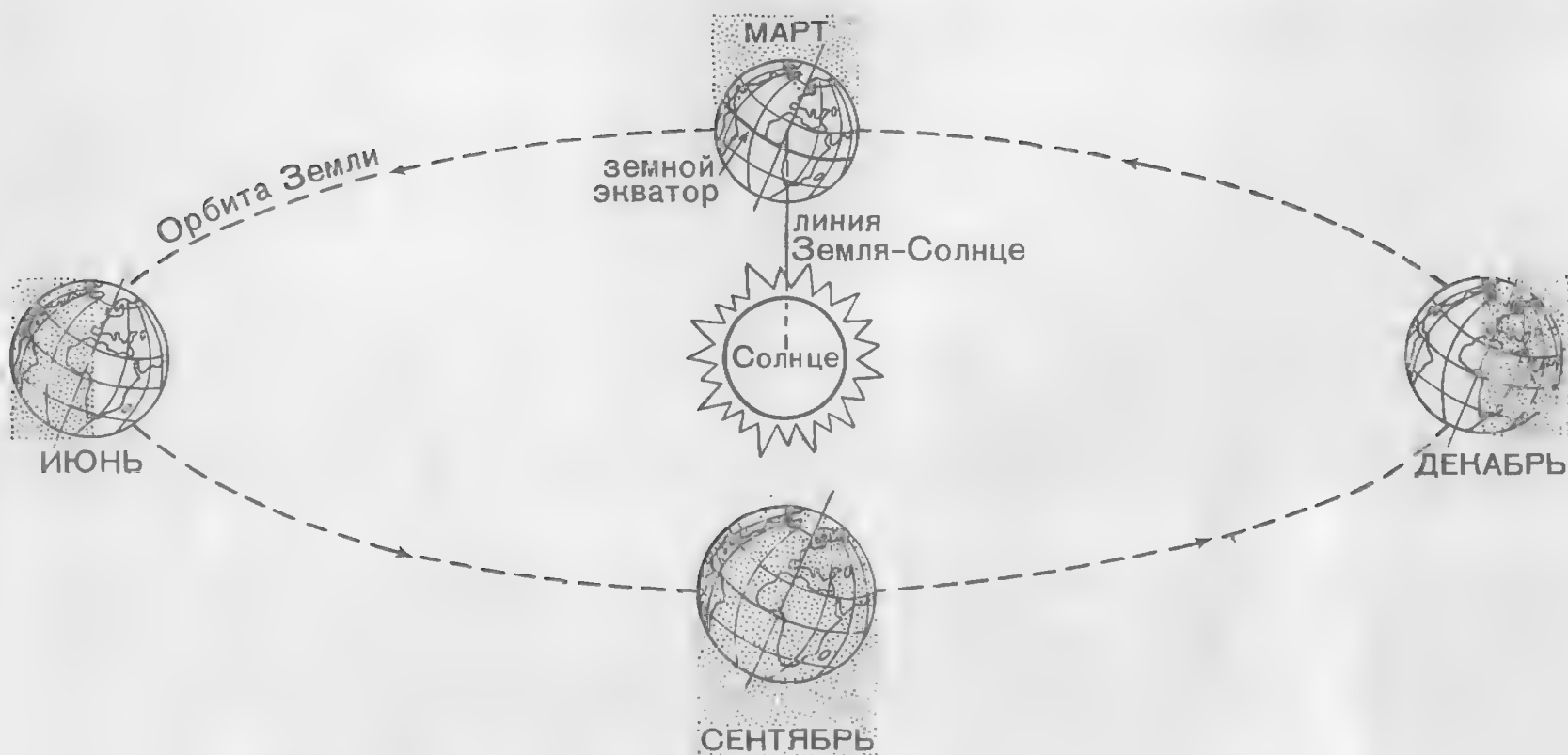


Рис. 1.9. Наклон оси вращения Земли и времена года.

к Солнцу или от него? (b) Куда повернуто северное полушарие в июле — к Солнцу или от него?

(a) от Солнца; (b) к Солнцу.

20. Зная положение эклиптики, изображенной на звездном глобусе или звездной карте (см. рис. 1.10), можно определить положение Солнца на любой день.

Точка весеннего равноденствия показывает положение Солнца примерно 21 марта, когда оно пересекает небесный экватор,



Рис. 1.10. Карта неба на плоскости.

переходя из южной половины небесной сферы в северную. Эта точка на небесной сфере выбрана в качестве нулевой для отсчета прямого восхождения (см. раздел 1.9). *День осеннего равноденствия* наступает 23 сентября, когда Солнце пересекает экватор, переходя из северной половины небесной сферы в южную. Во время равноденствий дни и ночи имеют равную продолжительность.

Летнее солнцестояние, наступающее примерно 21 июня, и *зимнее солнцестояние*, происходящее примерно 22 декабря,— это самое северное и самое южное положения Солнца в течение года. В эти сутки у нас в северном полушарии соответственно самый длинный и самый короткий дни.

Найдите на рисунке 1.10 точки весеннего и осеннего равноденствий, летнего и зимнего солнцестояний.

(а) осеннее равноденствие; (b) летнее солнцестояние; (с) весеннее равноденствие; (d) зимнее солнцестояние.

21. Для наблюдателей на территории СССР Солнце никогда не проходит прямо над головой. В каком месте на Земле вы должны находиться, чтобы Солнце точно проходило через зенит в день: (а) весеннего равноденствия? (b) летнего солнцестояния? (с) осеннего равноденствия? (d) зимнего солнцестояния?

(а) на экваторе; (b) на широте $23,5^\circ$ с. ш. (тропик Рака); (с) на экваторе; (d) на широте $23,5^\circ$ ю. ш. (тропик Козерога).

22. Опишите вкратце, как вы можете объяснить изменение вида звездного неба вследствие обращения Земли вокруг Солнца.

Ваш ответ должен основываться на следующем: вид звездного неба в течение ночи меняется из-за суточного вращения Земли. Но разные звезды видны в разное время года из-за годового обращения Земли вокруг Солнца. Видимое суточное движение Солнца по небу происходит из-за действительного суточного вращения Земли. Видимое годовое перемещение Солнца среди звезд по эклиптике происходит из-за действительного обращения Земли вокруг Солнца.

23. Вращение Земли вокруг оси служит основой для определения времени с помощью астрономических наблюдений. *Солнечные сутки*, используемые в повседневной жизни, измеряются длительностью одного оборота Земли по отношению к Солнцу. *Звездные сутки* определяются длительностью одного оборота Земли по отношению к звездам.

Звездные сутки равны 23 ч 56 мин 4 с. Это то время, которое нужно звезде, чтобы два раза последовательно пересечь

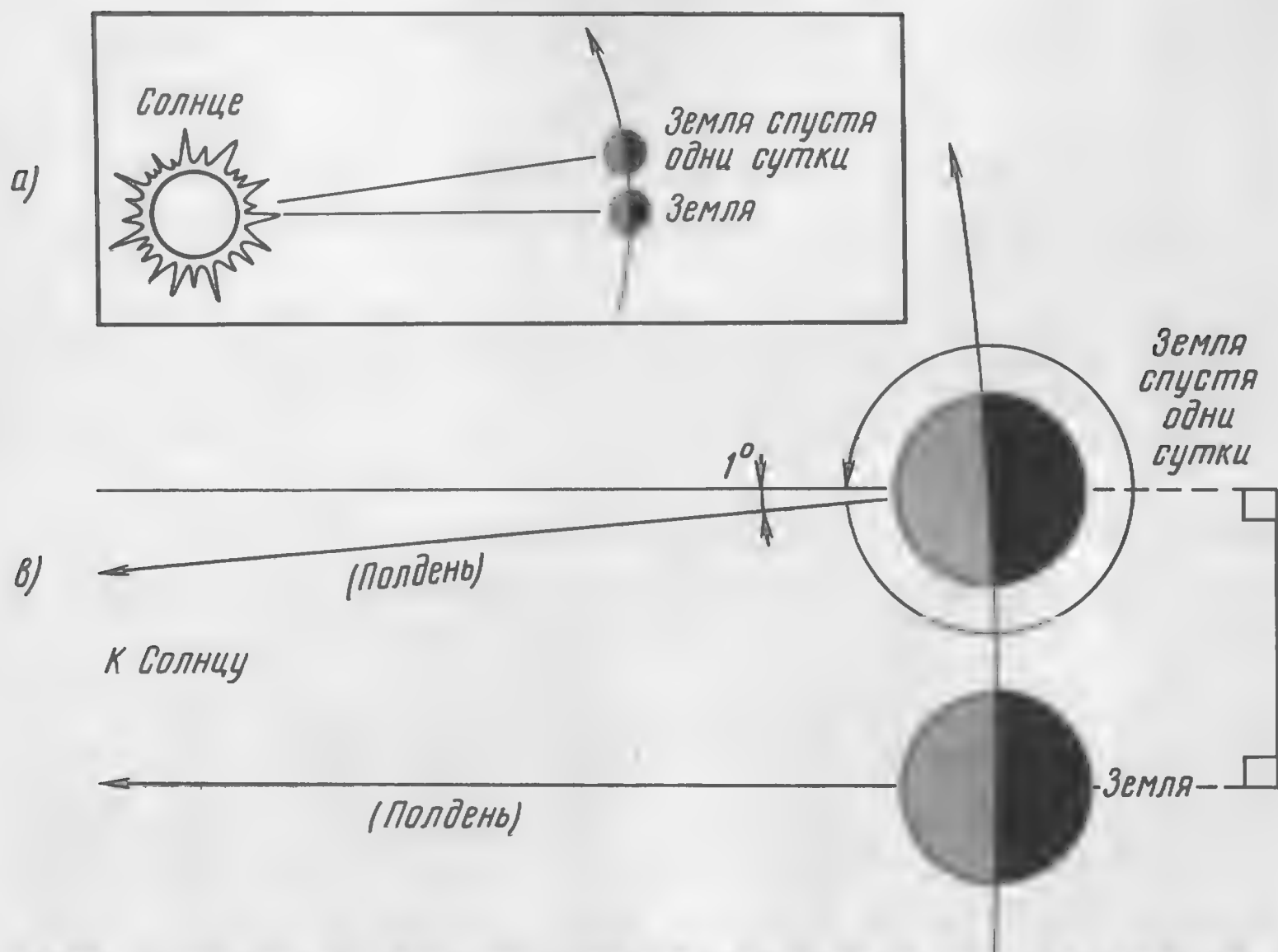


Рис. 1.11. Солнечные и звездные сутки. Видимое изменение направления на Солнце по мере движения Земли по орбите.

небесный меридиан. Солнечные сутки равны 24 часам — это промежуток времени между двумя последовательными прохождением Солнца через небесный меридиан (в полдень).

Солнечные сутки примерно на 4 мин длиннее звездных из-за того, что Земля одновременно вращается вокруг своей оси и обращается вокруг Солнца. Поэтому для нового появления Солнца на небесном меридиане Земле необходимо повернуться вокруг своей оси чуть больше одного раза.

Что является причиной четырехминутной разницы между звездными и солнечными сутками?

Обращение Земли вокруг Солнца.

24. Вам, наверно, будет интересно узнать, что через несколько тысяч лет звездные карты устареют.

Направление земной оси в пространстве чрезвычайно медленно перемещается по поверхности конуса, совершая один оборот примерно за 26 000 лет. Земная ось медленно описывает в пространстве конус — это явление называется *прецессией*. Прецессия земной оси — следствие действия на Землю неодинаковых сил притяжения со стороны Солнца и Луны из-за экваториального вздутия Земли.

По мере того как земная ось прецессирует, изменяется положение полюса мира и, следовательно, полярными становятся

другие звезды. Точка весеннего равноденствия — нулевая точка отсчета прямого восхождения — перемещается по эклиптике в западном направлении со скоростью примерно 50 угловых секунд в год, или 30° (целое зодиакальное созвездие) за 2150 лет. Вот почему через тысячелетия и устарели все современные звездные карты.

В наши дни около северного полюса небесной сферы располагается Полярная звезда, а точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб.

(а) Какая звезда была полярной в 3000 г. до н. э.? (б) Какая звезда будет полярной в 14 000 г.?



Рис. 1.12. Чередование полярных звезд.

(а) Тубан; (б) Вега.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал первой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Для каждого из перечисленных ниже названий, взятых с земного глобуса, напишите соответствующее ему понятие на небесной сфере:

(а) экватор; (б) Северный полюс; (с) Южный полюс; (д) широта; (е) долгота; (ф) Гринвич, Англия.

2. Воспользуйтесь таблицей 1.1. Какие из пяти самых ярких звезд неба находятся выше небесного экватора, а какие ниже?

3. Воспользуйтесь таблицей 1.1. Какие из пяти самых ярких звезд никогда не появляются над горизонтом на северной широте 40° (примерная широта Нью-Йорка)?

4. Соответственно описаниям в левом столбце подберите правильное местоположение на Земле (правый столбец).

(а) Видимое движение звезд по небу происходит по кругам, параллельным горизонту.

(б) Звезды восходят на востоке под прямыми углами к горизонту и заходят за горизонт тоже под прямыми углами на западе.

1. Антарктика (южнее 61° ю. ш.)

2. Экватор

3. Кушка, Туркменская ССР (35° с. ш.)

4. Северный полюс

5. Душанбе, Таджикская ССР (38° с. ш.)

(с) Вега проходит практически через зенит.

(d) Альфа Центавра всегда находится над горизонтом.

(е) Полярная звезда находится на высоте примерно 35° над горизонтом.

5. Почему видимое перемещение звезд по небу в течение ночи происходит по дугам?

6. Почему в разное время года на небе появляются разные созвездия?

7. Что такое Зодиак?

8. В каком месте на Земле вы должны находиться, чтобы Солнце точно проходило через точку зенита: (а) В день весеннего равноденствия? (b) В день летнего солнцестояния? (с) В день зимнего солнцестояния?

9. Если звезда взошла сегодня в 8 ч вечера, в котором примерно часу взойдет она через месяц?

10. Почему солнечные сутки на 4 мин длиннее звездных?

11. Расположите в порядке уменьшения блеска следующие звезды: Антарес (1-я звездная величина); Канопус (— 1-я звездная величина); Полярная (2-я звездная величина); Вега (0-я звездная величина).

12. Почему Полярная звезда и положение точки весеннего равноденствия на небесной сфере будут через тысячи лет отличаться от настоящего, что приведет к устарению современных звездных карт?

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, то обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. (а) небесный экватор | (d) склонение |
| (b) северный полюс мира | (е) прямое восхождение |
| (с) южный полюс мира | (f) точка весеннего равноденствия |
| | (разделы 1, 8, 9) |

2. Выше: Арктур, Вега; ниже: Сириус, Канопус, Альфа Центавра (разделы 9, 10).

3. Канопус, Альфа Центавра (разделы 10, 13, 14).

4. (а) 4; (b) 2; (с) 5; (d) 1; (е) 3 (разделы 10, 13, 14, 15).

5. Из-за вращения Земли вокруг своей оси (разделы 1, 12).
6. Из-за обращения Земли вокруг Солнца (раздел 16).
7. Пояс на небе из 12 созвездий шириной примерно 16° , через середину которого проходит эклиптика (раздел 17).
8. (а) экватор; (b) $23,5^\circ$ с. ш. (тропик Рака); (с) $23,5^\circ$ ю. ш. (тропик Козерога) (разделы 19, 20, 21).
9. В 6 ч вечера (раздел 16).
10. Потому что, вращаясь вокруг собственной оси, Земля также движется по орбите вокруг Солнца. Земля должна сделать чуть больше одного оборота вокруг своей оси, чтобы для одной и той же точки Земли Солнце вновь наблюдалось на небесном меридиане (раздел 23).
11. Канопус, Вега, Антарес, Полярная (раздел 7).
12. Из-за прецессии земной оси (раздел 24).

СВЕТ И ТЕЛЕСКОПЫ

Любознательность — одно из постоянных и неизменных качеств сильного ума.

Самуэл Джонсон.
«Рамбле» (1751)

1. Наибольшая часть наших сведений о Вселенной получена благодаря исследованию света звезд. Свет, излучаемый звездами, распространяется в космосе в форме волны. Волна — это поднимающееся и опадающее периодическое колебание, которое переносит энергию от источника к приемнику без переноса вещества. Волновое движение наглядно проявляется в океане; во время штормов волны, обрушиваясь на берег, высвобождают переносимую ими энергию.

Световая волна представляет собой электромагнитное колебание. Световые волны переносят энергию от звезд (источник) к сетчатке нашего глаза (приемник).

Объясните, что такое волна.

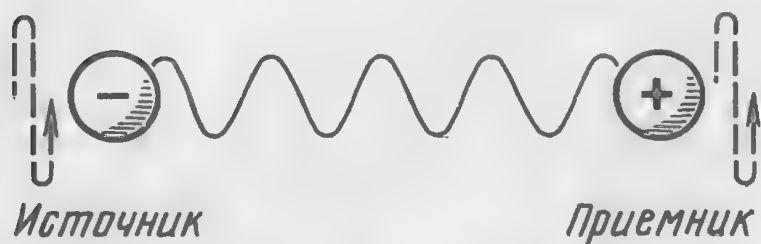


Рис. 2.1. Условное изображение световой волны.

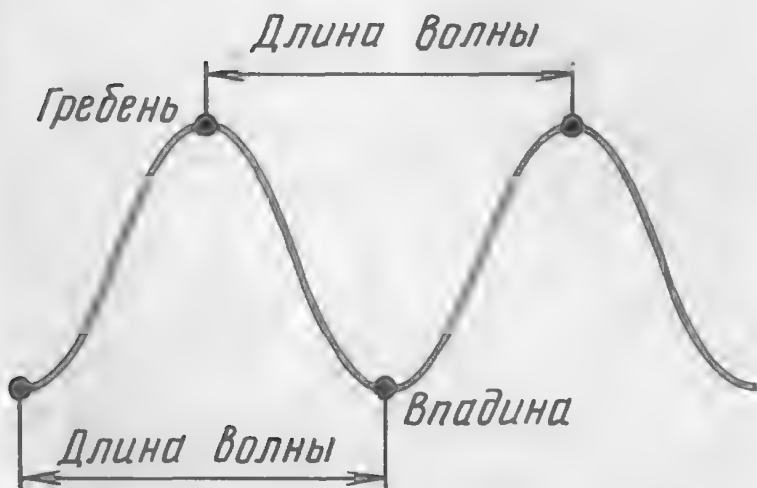


Рис. 2.2. Длина волны.

Волна представляет собой поднимающееся и опадающее периодическое колебание, которое переносит энергию от источника к приемнику без переноса вещества.

2. Расстояние от какой-либо точки на волне до следующей идентичной точки, например, расстояние от гребня до гребня, называется *длиной волны*.

Человеческий глаз ощущает свет с очень короткой длиной волны. Эти волны, благодаря которым мы видим, называются *видимым светом*. Длина волны видимого света обычно измеряется в *ангстремах* (Å). Один ангстрем равен одной стомиллионной доле сан-

тиметра (10^{-8} см). Видимый свет имеет длины волн между $4000\text{\AA}$ и $7000\text{\AA}$.

Различные длины волн видимого света воспринимаются как разные цвета. Расположение цветов в зависимости от длин волн называется «видимым спектром».

Воспользуйтесь рисунком 2.3. Какого цвета свет (а) самых коротких длин волн?

(б) Самые длинных длин волн?

(с) К какой длине волны (цвету) человеческий глаз наиболее чувствителен?

(а) фиолетовый; (б) красный; (с) $5550\text{\AA}$ (желто-зеленый).

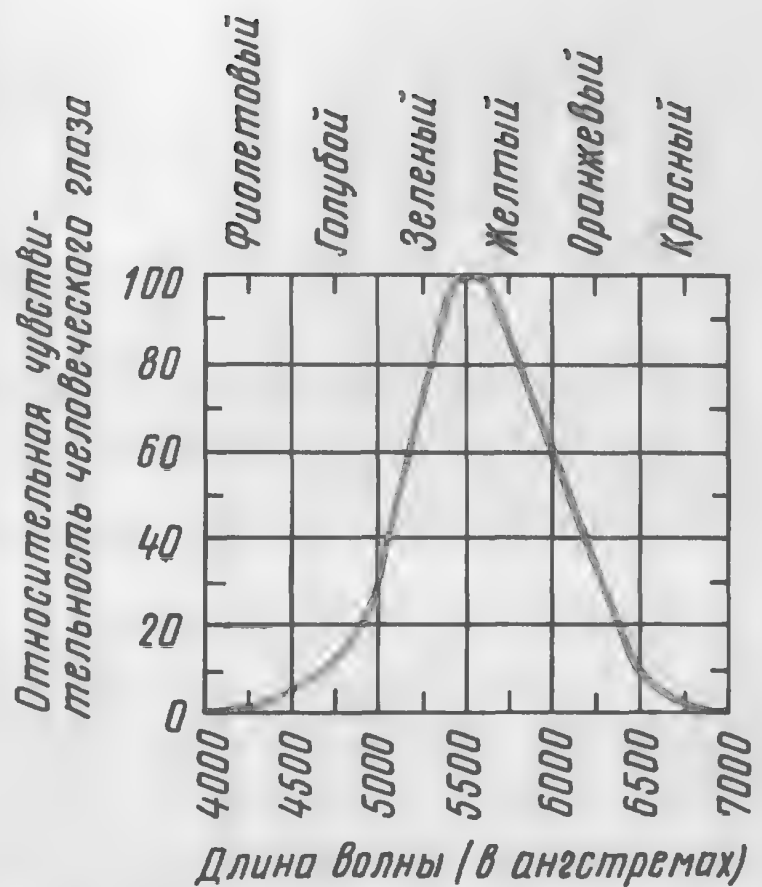


Рис. 2.3. Относительная чувствительность человеческого глаза к различным цветам.

3. Видимый свет — это лишь небольшая доля всего электромагнитного излучения в космосе. Энергия переносится также в форме гамма-лучей, рентгеновских лучей, ультрафиолетового излучения, инфракрасного излучения и радиоволн.

Перечисленные формы излучения кажутся нам сильно отличающимися друг от друга из-за того, что мы используем их в разных целях.

Гамма-лучи используются в медицине для лечения опухолевых заболеваний, а рентгеновские — для диагностики. Ультрафиолетовые лучи вызывают на теле загар, а инфракрасные — согревают. Радиоволны используют для связи.

Однако все эти формы излучения представляют собой тот же вид энергии, что и видимый свет. Они имеют разные свойства потому, что у них различные длины волн. Самые короткие волны имеют наибольшую энергию, в то время как самые длинные — наименьшую.

Все семейство электромагнитного излучения, составленное согласно длинам волн, называется электромагнитным спектром, который представлен на рисунке 2.4.

Напишите шесть основных форм электромагнитного излучения, начиная от самых коротких волн до самых длинных.

Гамма-лучи, рентгеновские лучи, ультрафиолетовое излучение, видимый свет, инфракрасное излучение, радиоволны.

4. Каков диапазон длин волн, заключенных в полном электромагнитном спектре?

Диапазон длин волн изменяется от менее чем одной миллиардной доли сантиметра (10^{-9} см) для самых коротких гамма-лучей до более чем километровых (10^5 см) для самых длинных радиоволн.

5. Все виды электромагнитных волн распространяются в пустом пространстве с одной и той же скоростью, а именно со скоростью света. Скорость света в вакууме составляет примерно 299 793 км/с.

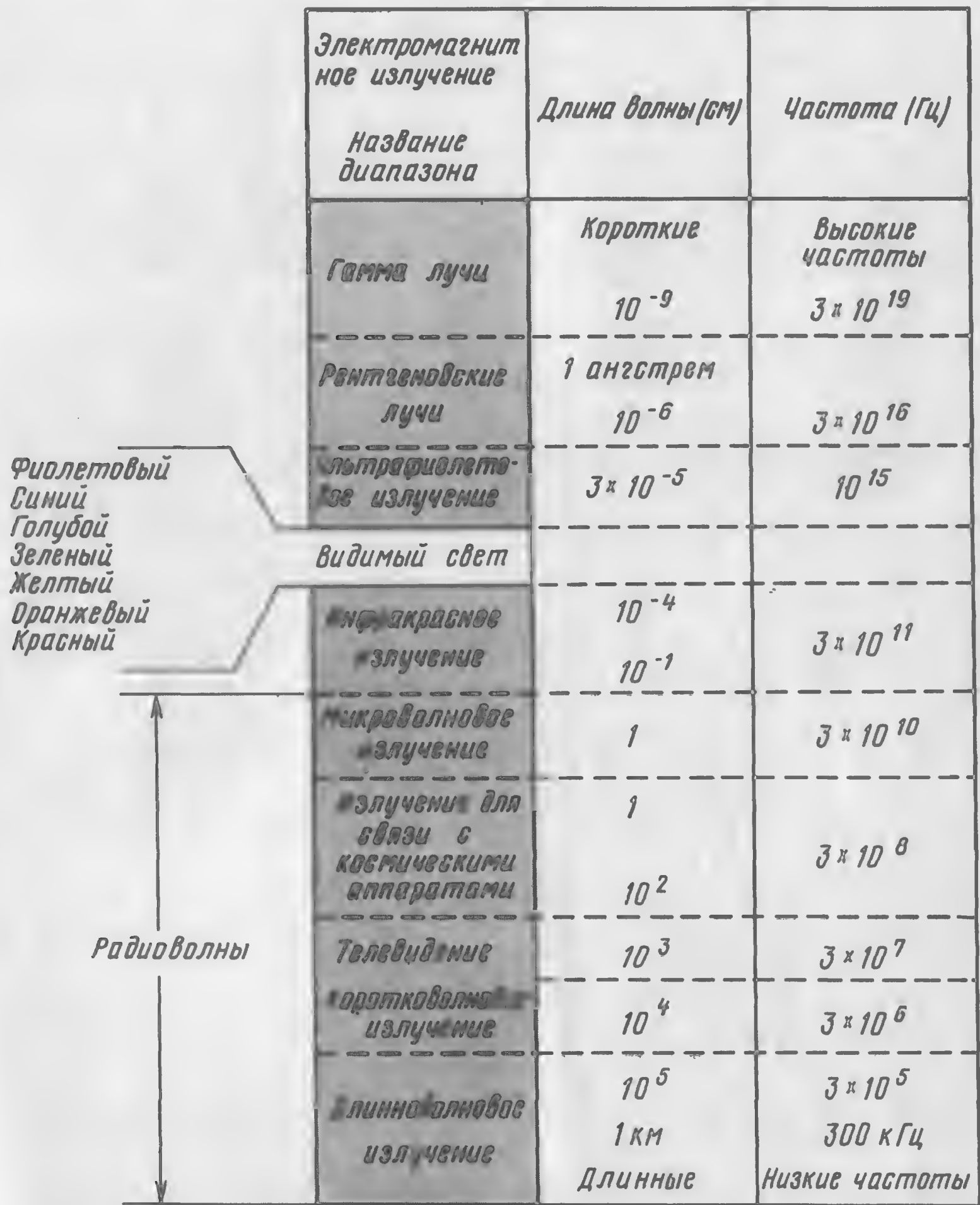


Рис. 2.4. Электромагнитный спектр.

Скорость света в пустоте названа «скоростным пределом Вселенной», так как ни один из известных объектов не может двигаться быстрее. Во всех других средах, например в воздухе или в стекле, скорость света меньше.

Световой год — это расстояние, которое проходит свет в пустоте за один год. Сколько километров содержится в одном световом году? Указание: (1) расстояние=скорость $\times$ время. (2) В году содержится $3,156 \cdot 10^7$ с.

Почти 9,46 триллионов километров.

Решение. Перемножаем $299\,793$ км/с $\cdot 3,156 \cdot 10^7$ с.

6. Волновое движение может быть описано либо с помощью понятия длины волны, либо с помощью понятия *частоты*. Частота волнового движения — это число волн, которые прошли за данное время через фиксированную точку. Частота измеряется количеством колебаний за одну секунду. Эта единица называется герцем (Гц). Это название широко применяется в радиотехнике, и «герцы» вы можете встретить на шкале своего радиоприемника.

Радиоприемник, работающий в диапазоне от 550 до 1600 кГц, принимает радиоволны с частотами между 550 000 и 1 600 000 колебаний в секунду. Человеческий глаз воспринимает световые волны различных цветов, обладающие очень высокой частотой. Частоты видимого света лежат в интервале от $4,2 \cdot 10^{14}$ Гц для красного цвета до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц для фиолетового, а частоты других цветов расположены между ними.

Посмотрите на электромагнитный спектр, изображенный на рисунке 2.4. У каких волн частоты выше, чем у видимого света?

У каких волн частоты ниже, чем у видимого света?

Частоты выше: у гамма-лучей, рентгеновских лучей, ультрафиолетового излучения; частоты ниже у инфракрасных лучей и радиоволн.

7. Можете ли вы установить основное соотношение между длиной волны и частотой для одних и тех же волн?

Более короткие волны имеют относительно более высокие частоты, а более длинные — относительно низкие частоты.

8. Соотношение, которое вы только что установили, — это пример формулы, которая является справедливой для всех видов волнового движения: скорость волны=частота $\times$ длину волны.

Вы можете использовать эту формулу для вычисления частоты любого типа электромагнитных волн, распространяющихся в пустоте, если известна длина волны (или длину волны, если известна частота). Объясните, почему это так. Указание: обратитесь к разделу 2.5.

Все электромагнитные волны имеют одну и ту же скорость в пустоте, а именно скорость света, или округленно 300 000 км/с.

9. Проверьте, насколько прочно вы уяснили соотношение между скоростью, частотой и длиной волны для электромагнитных волн. Вычислите длину радиоволны, частота которой составляет 100 кГц (100 000 колебаний в секунду).

3,00 км.

Решение: скорость волны = частота $\times$ длину волны, следовательно, длина волны = $\frac{\text{скорость}}{\text{частота}} = \frac{300\,000\text{ км/с}}{100\,000\text{ колебаний/с}}$.

★ 10. Звезды, как и другие горячие тела, излучают энергию во всех длинах волн. Чем горячее звезда, тем больше энергии она излучает. Температура звезды также определяет, какая длина волны соответствует самому интенсивному излучению.

Согласно закону излучения Вина, длина волны, на которой тело излучает наибольшее количество энергии, обратно пропорциональна его температуре. Таким образом, чем звезда горячее, тем на более короткие длины волн приходится максимум света.

Температуру звезды можно оценить по ее цвету (длине волны наиболее интенсивного излучения). Горячие звезды выглядят бело-голубыми (короткие длины волн), а холодные — красными (длинные волны). Самые горячие звезды (очень короткие длины волн) и самые холодные звезды (очень длинные волны) практически невидимы.

Найдите на небе светила, приведенные в таблице 2.1 (см. звездные карты).

Таблица 2. 1. Горячие и холодные звезды

Время года	Звезда	Созвездие	Цвет	Температура поверхности (в кельвинах)
Лето	Вега	Лиры	Бело-голубой	10 000
Лето	Антарес	Скорпион	Красный	3 000
Зима	Сириус	Большой Пес	Бело-голубой	10 000
Зима	Бетельгейзе	Орион	Красный	3 000

Кривая излучения показывает, какое количество энергии излучает тело на различных длинах волн, на каких длинах волн излучение наиболее интенсивное, а также общее количество энергии, которое оно излучает суммарно на всех длинах волн (область под кривой).

Изучите кривую излучения нашего Солнца. (а) На каких длинах волн Солнце наиболее интенсивно излучает? (б) Общее

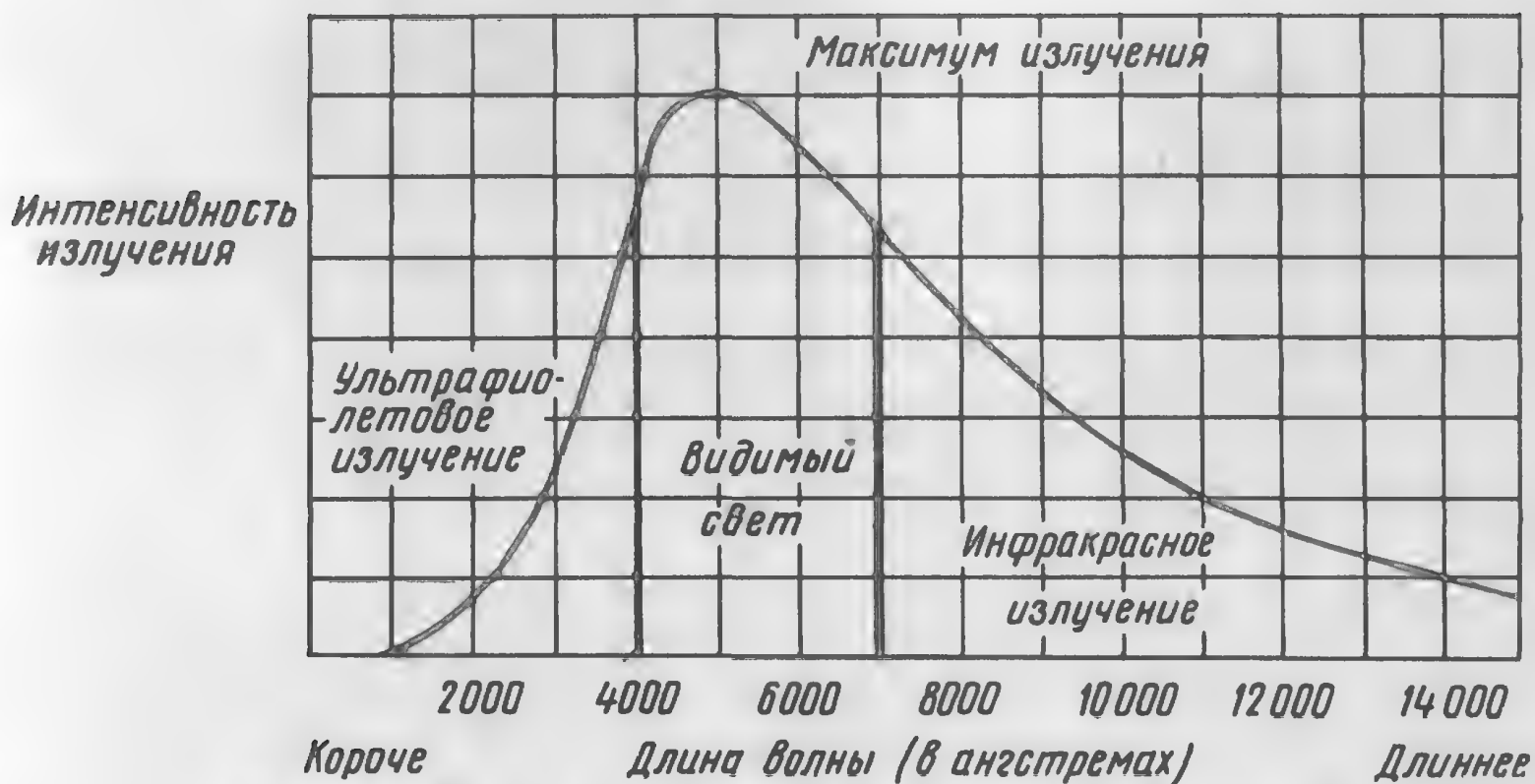


Рис. 2.5. Распределение энергии в солнечном спектре.

количество энергии, которое Солнце излучает в видимом участке спектра больше или меньше, чем количество энергии, излучаемой вне видимой области?

(а) видимых; (b) меньше.

11. Для астрономов важны электромагнитные волны всех длин волн, потому что каждая из них несет ценную информацию. Земная атмосфера поглощает большую часть излучения из космоса, и до телескопов, находящихся на земной поверхности, доходят лишь волны некоторых диапазонов длин.

Астрономы видят Вселенную через три «окна прозрачности», или три диапазона длин волн. Вот они в порядке их значимости: *оптический* (видимый), *радио* и *инфракрасный* диапазоны. Земная атмосфера является прозрачной только для этих трех участков спектра.

При тщательном определении местоположения Национальной обсерватории Китт Пик, предназначенной для оптических астрономических наблюдений, был выбран горный район засушливого Юго-Запада, где часто бывает ясное небо. Эта обсерватория, расположенная примерно в 80 км от Туксона (Аризона, США), имеет центр для посетителей и проводит для них интересные экскурсии.

Что бы вы посоветовали астрономам, которые хотят изучать Вселенную, используя гамма-лучи, рентгеновские лучи и ультрафиолетовое излучение?

Поднять инструменты над земной атмосферой. Современная техника делает возможным наблюдения в этих участках спектра с воздушных шаров, ракет, искусственных спутников Земли или даже с лунных обсерваторий.



Рис. 2.6. Национальная обсерватория Китт Пик.

12. *Оптические телескопы*, которые строят изображения слабых и отдаленных звезд, могут собирать гораздо больше света, чем человеческий глаз. Существуют две основные конструкции оптических телескопов — *рефракторы* (преломляющие) и *рефлекторы* (отражающие).

Сердцем любого телескопа является его *объектив*. Объектив представляет собой систему линз (в рефракторах) или зеркало (в рефлекторах), функция которых — собирать свет от небесных объектов и строить их изображения. Количество света, собранное объективом, называется его *светосилой*. Светосила пропорциональна площади (или квадрату диаметра) объектива. Указание на размеры телескопа, как, например, «6-дюймовый» или «5-метровый», относится именно к диаметру объектива.

Изображение, построенное объективом, можно рассматривать с помощью *окуляра*, который представляет собой увеличительное стекло, можно сфотографировать либо проанализировать множеством других способов. Размер хрусталика вашего глаза составляет примерно 0,2 дюйма (5 мм). Шестидюймовый телескоп снабжен объективом, который в 30 раз больше хрусталика. Его светосила в 30^2 , т. е. в 900 раз, больше, чем у вашего глаза.

Таким образом, в 6-дюймовый телескоп звезды кажутся в 900 раз ярче, чем вы видите их невооруженным глазом.

В телескоп все звезды кажутся ярче, чем невооруженному глазу. Весь свет от звезды, который собирает телескоп, концентрируется в одну точку. Используя длительные экспозиции, с помощью 5-метрового телескопа можно фотографировать очень слабые звезды до 24-й звездной величины. Блеск этих звезд такой же, как у свечи, отнесенной на расстояние в 15 000 км!

Насколько ярче выглядит звезда в 5-метровый телескоп, чем при наблюдении невооруженным глазом? Объясните.

Более чем в миллион раз ярче. Объектив 5-метрового телескопа больше хрусталика вашего глаза в тысячу раз, поэтому он и света собирает в $1000^2 = 1$ млн. раз больше.

13. Бинокляры с маркировкой 7×50 снабжены объективами диаметром 50 мм; $7\times$ указывает на увеличение. Об этом подробнее см. в разделе 2.20.

Почему в бинокляры и телескопы видно намного больше небесных объектов, чем мы их видим невооруженным глазом?

Они собирают намного больше света по сравнению с невооруженным глазом (светосила пропорциональна площади объектива).

14. Объективом телескопа-рефрактора служит большая линза, которая всегда находится в передней части трубы. Свет от звезды проходит эту линзу и преломляется таким образом, что около задней части трубы получается изображение светила.

Расстояние от линзы до изображения называется *фокусным расстоянием*. Вы смотрите на изображение через увеличительные линзы — *окуляры*, которые могут пододвигаться к изображению. Труба телескопа сделана так, что не пропускает рассеянный свет, пыль и влагу.

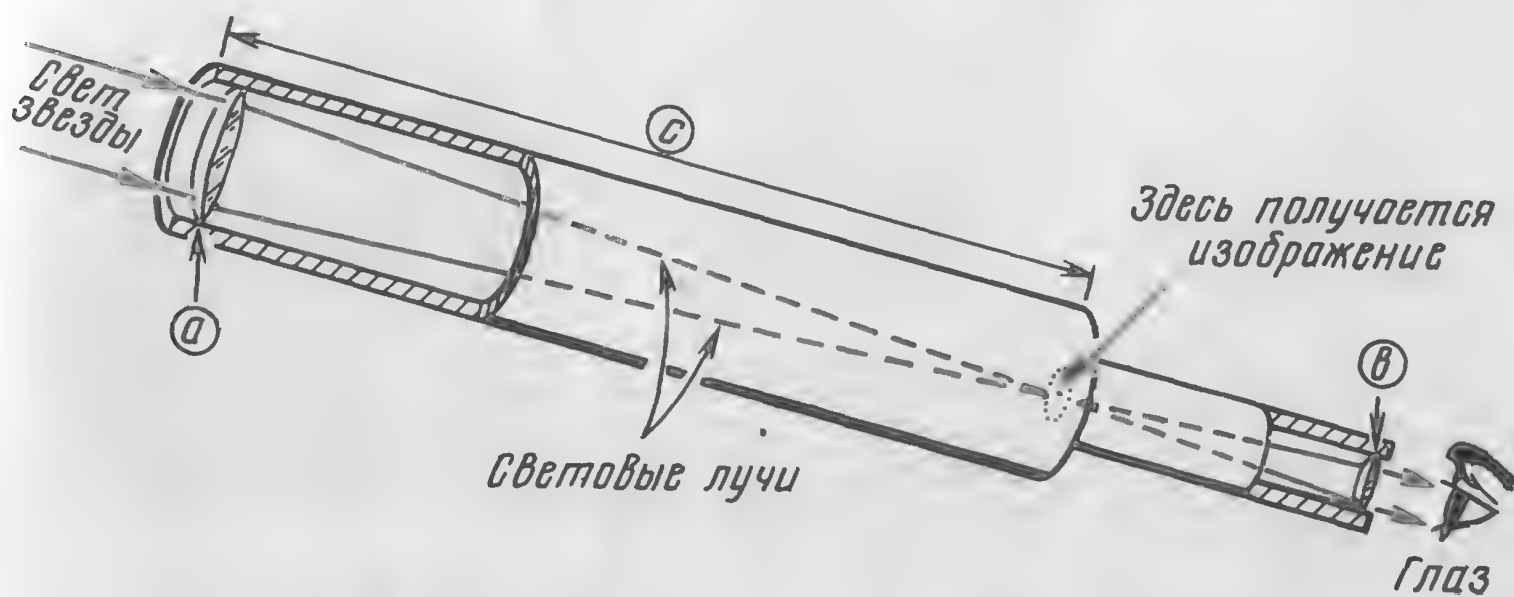


Рис. 2.7. Телескоп-рефрактор.

В XVII в. в Италии Галилео Галилей впервые навел телескоп-рефрактор на небо. Самый большой инструмент, который он соорудил, имел объектив меньше 5 см. Сегодня размеры объективов телескопов-рефракторов заключены в пределах от 60 мм любительского до 102 см самого большого в мире телескопа в обсерватории им Йеркса в Вильямс-Бей (Висконсин, США).

На рисунке 2.7 найдите объектив телескопа, окуляр и расстояние, соответствующее фокусному расстоянию объектива. Объясните назначение (a) и (b).

- (a) Объектив собирает свет и строит изображение.
- (b) Окуляр служит для рассматривания изображения, построенного объективом.
- (c) Фокусное расстояние объектива.

15. *Телескоп-рефлектор* имеет хорошо отполированное стеклянное или металлическое зеркало (объектив), расположенное в нижней части открытой трубы. Когда свет звезды попадает на это зеркало, оно отражает его обратно вдоль трубы, чтобы построить изображение в *главном фокусе*.

В главном фокусе можно поместить пленку для фотографирования изображения или же использовать дополнительные зеркала, которые переотразят свет в другую точку для наблюдения простым глазом. В *рефлекторе системы Ньютона* применяется небольшое плоское зеркало для переотражения света в окуляр, расположенный на боковой поверхности трубы. В *рефлекторе системы Кассегрена* используется небольшое выпуклое зеркало для переотражения света в отверстие, имеющееся в зеркале-объективе, расположенном в нижней части трубы.

Размеры телескопов-рефлекторов изменяются от любительского диаметром 75 мм рефлектора системы Ньютона до самого большого в мире 6-метрового рефлектора в Советском Союзе, на Северном Кавказе. Самый большой рефлектор в Соединен-

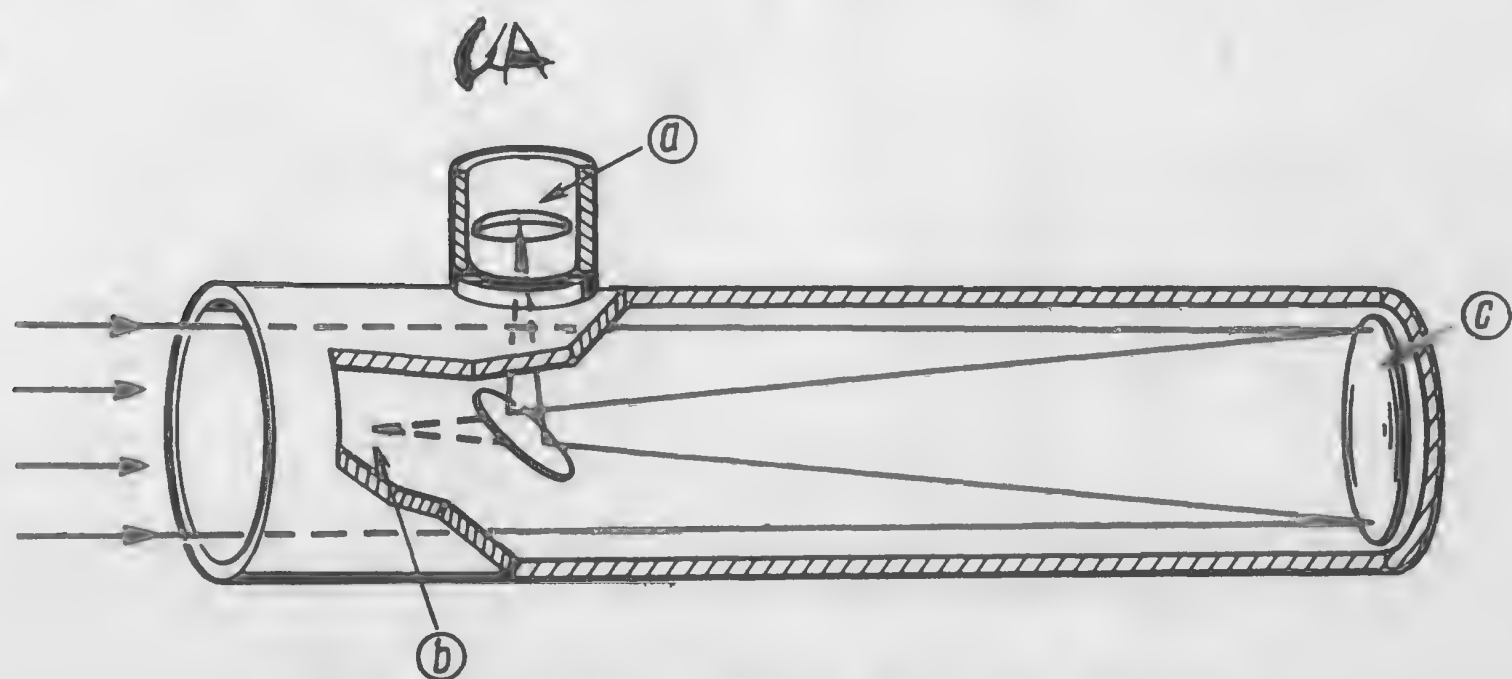


Рис. 2.8. Телескоп-рефлектор системы Ньютона.

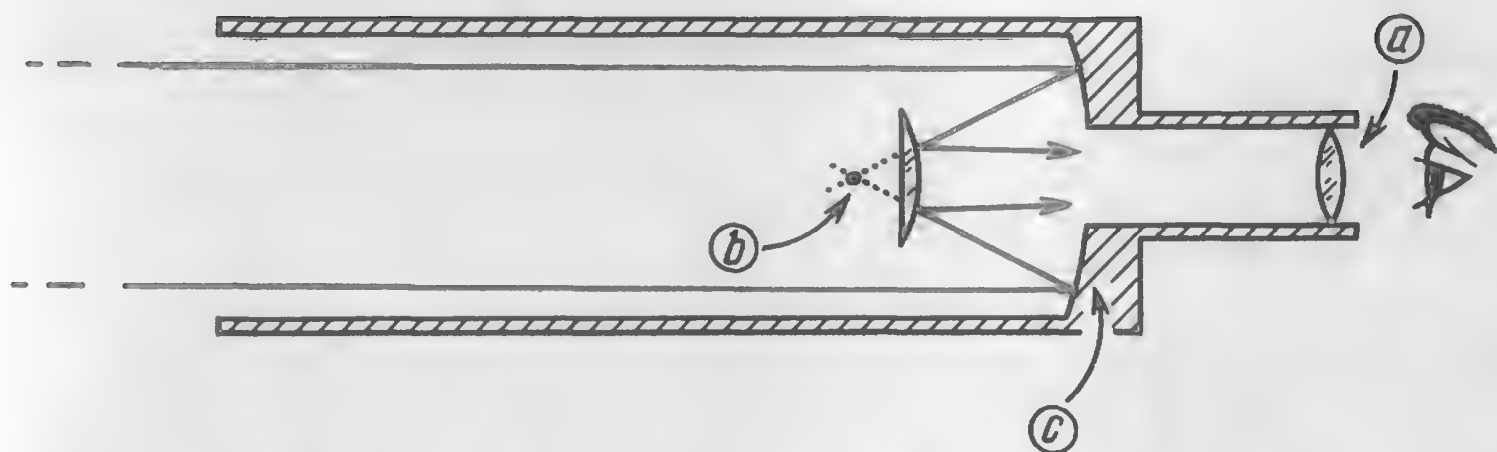


Рис. 2.9. Телескоп-рефлектор системы Кассегрена.

ных Штатах — это телескоп им. Хейла на горе Паломар в Калифорнии¹, имеющий диаметр 508 см.

На рисунках 2.8 и 2.9 найдите зеркало-объектив, окуляр и главный фокус телескопа-рефлектора.

(а) окуляр; (b) главный фокус; (c) зеркало-объектив.

16. Объясните, в чем основное различие между телескопом-рефлектором и телескопом-рефрактором.

В типе объектива. В телескопе-рефлекторе используется зеркало, в то время как в телескопе-рефракторе — линза.

17. В качестве характеристики телескопа часто используется размер объектива и *относительное отверстие*. Относительное отверстие — это отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию (f). Эти параметры важны, так как яркость, размер и четкость изображения, построенного телескопом, зависят от диаметра объектива и его фокусного расстояния. Например, если написать «6-дюймовый, $f/8$ рефлектор», то это означает, что диаметр зеркала-объектива равен 6 дюймам, а фокусное расстояние — 48 дюймам (8 раз по 6).

Чему равно фокусное расстояние 5-метрового, $f/3,3$ зеркала телескопа на горе Паломар?

16,5 м.

18. *Размер* изображения протяженных объектов пропорционален фокусному расстоянию объектива телескопа. Например, зеркало, у которого фокусное расстояние составляет 100 см, строит изображение Луны, достигающее в поперечнике почти одного

¹ Джордж Эллери Хейл — известный американский астроном, иностранный член-корреспондент АН СССР, задумавший и осуществивший в середине XX в. проект постройки крупнейшего в то время телескопа-рефлектора. Советский 6-метровый телескоп в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР был введен в строй в 1975 г. Руководил созданием этого телескопа Б. К. Иоаннисиани. — *Прим. ред.*

сантиметра. Вы уже знаете, что 5-метровое зеркало имеет фокусное расстояние 16,5 м, это в 16 с лишним раз больше, чем в приведенном примере. Следовательно, оно строит изображение Луны, которое почти в 16 раз больше, что примерно составляет 16 см в поперечнике.

Линзы и зеркала дают действительные перевернутые изображения (действительное¹ изображение образуется сходящимся пучком световых лучей). Все звезды, кроме нашего Солнца, находятся так далеко от нас, что кажутся в телескоп точечными источниками света. Луна и планеты в отличие от звезд представляются дисками. Так как для астрономических исследований не имеет значения, перевернуто изображение или нет, то в телескопах его поворот в правильное положение не предусматривается.

Что определяет размер изображения протяженного объекта (диска), построенного телескопом?

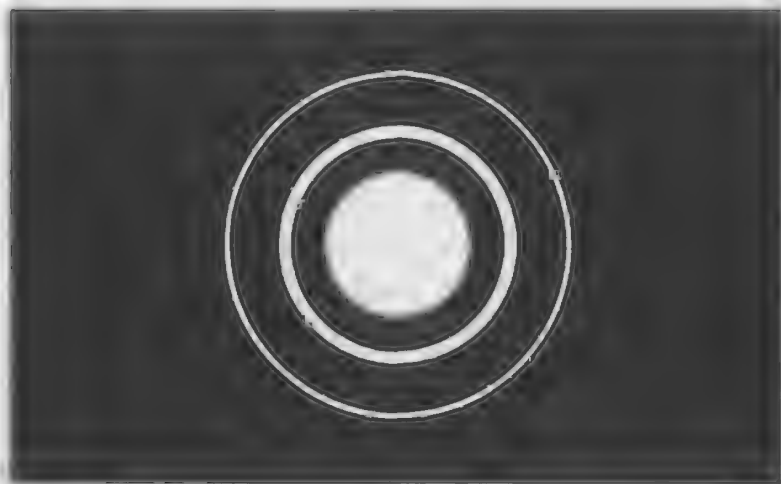
Фокусное расстояние объектива.

19. Даже если бы телескоп обладал безупречными оптическими качествами, он не строил бы абсолютно сфокусированных изображений вследствие природы самого света. *Разрешающая сила* телескопа — это его способность создавать резкие, детальные изображения при идеальных условиях наблюдения. Разрешающая сила пропорциональна диаметру объектива.

В пустоте свет звезд распространяется по прямым линиям. Но когда волны света проходят близко от края линзы или зеркала, они отклоняются (этот эффект называется дифракцией) и собираются не в геометрическом фокусе, а в различных точках около него. Поэтому из-за дифракции изображение звезды, создаваемое линзой или зеркалом, представляется не точкой света, а небольшим размытым диском, окруженным слабыми кольцами. Это явление называется дифракционной картиной.

Если две звезды расположены тесно друг к другу, то их дифракционные картины могут перекрываться таким образом, что они будут выглядеть как одна звезда. Лунные кратеры и образования на поверхности планет из-за дифракции также кажутся размытыми.

Рис. 2.10. Вид дифракционного изображения звезды.



Разрешающая сила телескопа указывает на наименьший угол между двумя звездами, при котором в данный телескоп видны их раздельно различимые

¹ Помимо действительных в оптике различают мнимые изображения, т. е. изображения, образованные расходящимся пучком лучей.— Прим. ред.

изображения. Разрешающая сила человеческого глаза составляет примерно $1'$.

Объясните, почему звезда, которая для невооруженного глаза выглядит одиночной, при наблюдении в телескоп может разделиться на две близко расположенные звезды.

Разрешающая сила телескопа прямо пропорциональна диаметру объектива, а диаметр объектива телескопа намного больше диаметра зрачка.

20. Увеличение телескопа — это отношение размера объекта, видимого в телескоп, к размеру тела, видимого невооруженным глазом. Телескоп увеличивает не линейный, а угловой диаметр объектов. Таким образом получается, что видимое изображение расположено как бы ближе, чем реальный объект.

Например, для невооруженного глаза видимый угловой размер полной Луны составляет $0,5^\circ$ — такой же размер имеет таблетка аспирина на расстоянии вытянутой руки. Если же при наблюдении в телескоп видимый угловой размер Луны увеличится в 20 раз (так что ее диаметр будет составлять 10°), то, значит, увеличение равно 20 (записывается $20\times$).

Увеличение телескопа можно определить следующим образом:

$$\text{увеличение} = \frac{\text{фокусное расстояние объектива}}{\text{фокусное расстояние окуляра}}.$$

Обычно у телескопов имеется набор окуляров с различным фокусным расстоянием.

(а) Чему равно увеличение 6-дюймового, $f/8$ телескопа, если используется окуляр с фокусным расстоянием в 0,5 дюйма?

(б) Как можно достигнуть большего увеличения телескопа?

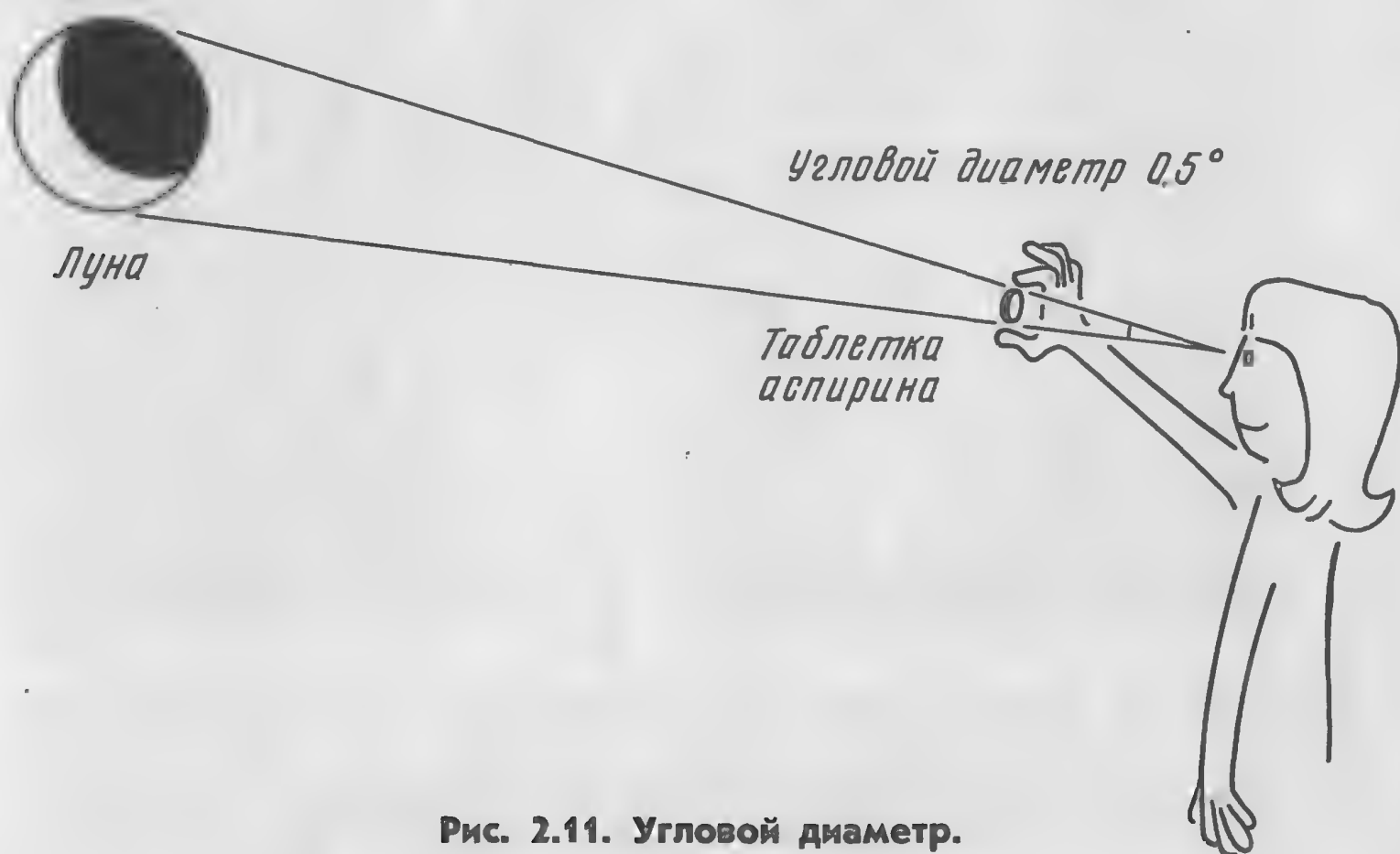


Рис. 2.11. Угловой диаметр.

(a) 96×.

Решение: $\text{увеличение} = \frac{\text{фокусное расстояние объектива}}{\text{фокусное расстояние окуляра}} = \frac{48 \text{ дюймов}}{0,5 \text{ дюйма}}.$

(b) Использовать окуляр с меньшим фокусным расстоянием.

21. При покупке телескопа не следует переоценивать важность увеличения, так как его нельзя делать неограниченно большим, заменяя окуляры.

Прежде чем свет звезды достигнет телескопа, он должен пройти через толщу земной атмосферы. Дрожание воздуха приводит к размыванию изображения. *Качество изображения* указывает на состояние атмосферы, которое влияет на четкость картины в поле зрения телескопа. Если атмосфера спокойная, то качество изображения бывает хорошим и звезды «светят» ровным светом. Если же происходит бурное перемещение воздушных масс, то качество изображения плохое и звезды сильно мерцают.

Практический опыт показывает, что *полезное увеличение* для любого телескопа выражается величиной, примерно в 20 раз больше диаметра его объектива в сантиметрах. При больших увеличениях будет сильно сказываться размытость изображения из-за дифракции или плохой видимости. Это не позволит рассмотреть мелкие детали (рис. 2.12).

В восьмидесятые годы Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США планирует вывести на орбиту 10-тонную обсерваторию для проведения заатмосферных наблюдений с помощью 2,4-метрового *космического телескопа*. Астрономы будут управлять им с Земли. Астронавты будут поддерживать его в рабочем состоянии на орбите и

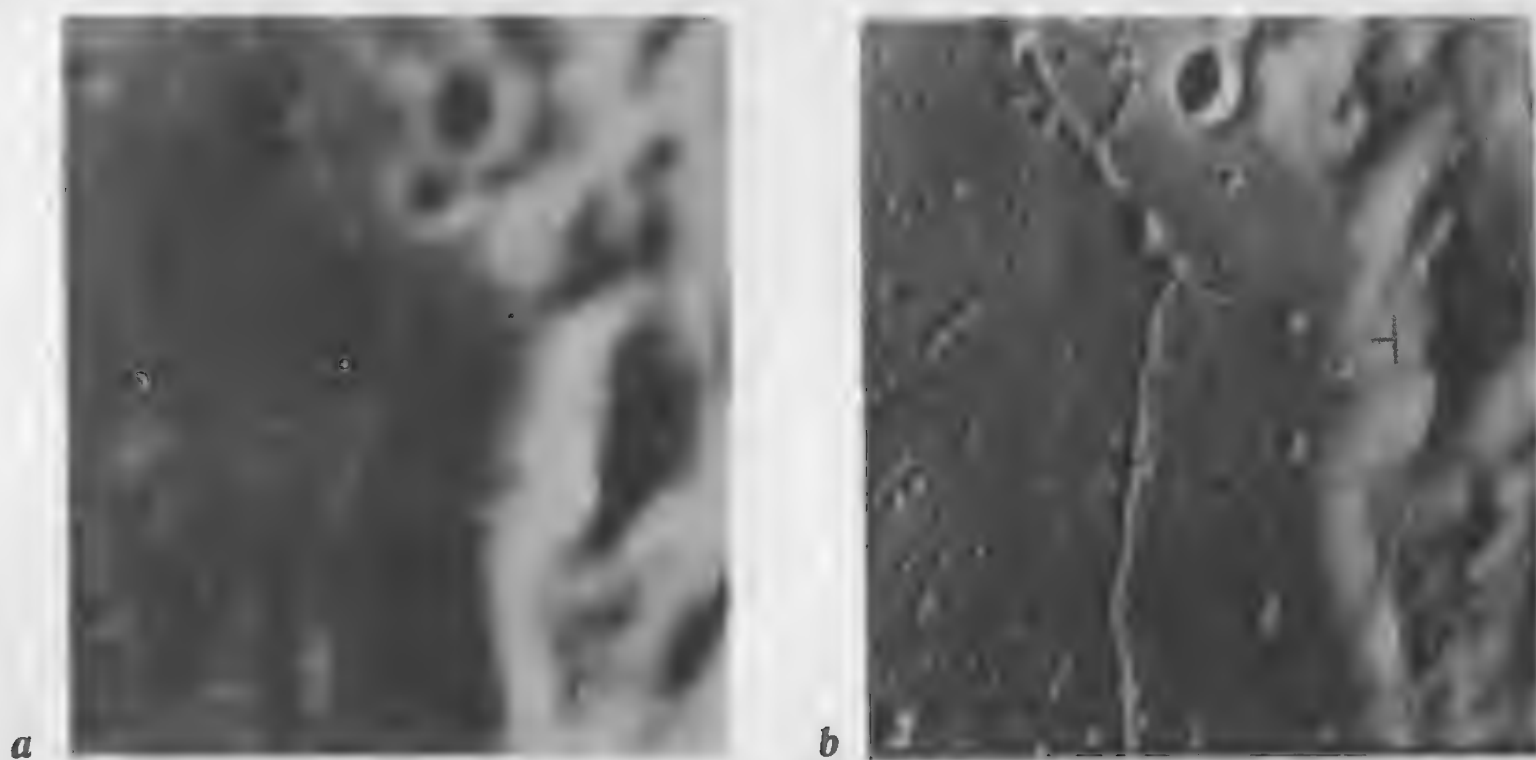


Рис. 2.12. Эффект атмосферного размывания изображения. Участок дна и вала лунного кратера Альфонс: сфотографированный а — 2,5-метровым телескопом обсерватории Маунт Вилсон и б — космическим аппаратом (вне пределов атмосферы).

менять отдельные узлы. Они же доставят его потом на Землю для капитального ремонта.

Каково практическое ограничение полезного увеличения для 6-дюймового телескопа?

300×.

22. Аберрации — это искажения изображения, создаваемые объективом.

Хроматическая аберрация — недостаток всех линз. Свет звезд состоит из смеси всех цветов спектра. Когда он проходит через линзу, то она отклоняет синие (более короткие) световые волны сильнее всего, и те собираются в фокусе чуть ближе к объективу, чем красные (более длинные) световые волны. Это превращает изображение звезды в пятно, окрашенное различными цветами. **Ахроматическая линза** представляет собой комбинацию двух линз, сделанных из различных сортов стекла, что уменьшает этот недостаток.

Зеркало отражает все цвета звездного света в одну и ту же точку фокуса. Рефлекторы строят изображение, которое не имеет цветовой окраски (хроматической аберрации).

Сферическая аберрация — наиболее распространенный недостаток и сферических линз, и зеркал. Свет звезд, прошедший близко от края линзы или зеркала и близко от центра объектива, не собирается в одну и ту же точку. Этот дефект исправляется подбором комбинаций линз из различных сортов стекла, а также использованием параболических зеркал вместо сферических.

Какой телескоп — рефлектор или рефрактор — вы используете для того, чтобы получить цветную фотографию звезд, избежав при этом хроматической аберрации? Ответ поясните.

Рефлектор. Так как зеркало отражает все цвета звездного света в одну и ту же точку, фокальное изображение в телескопе-рефлекторе не имеет цветовой окраски.

23. Вас, возможно, интересует, какой тип телескопа лучше — рефрактор или рефлектор. Ответ зависит от того, где

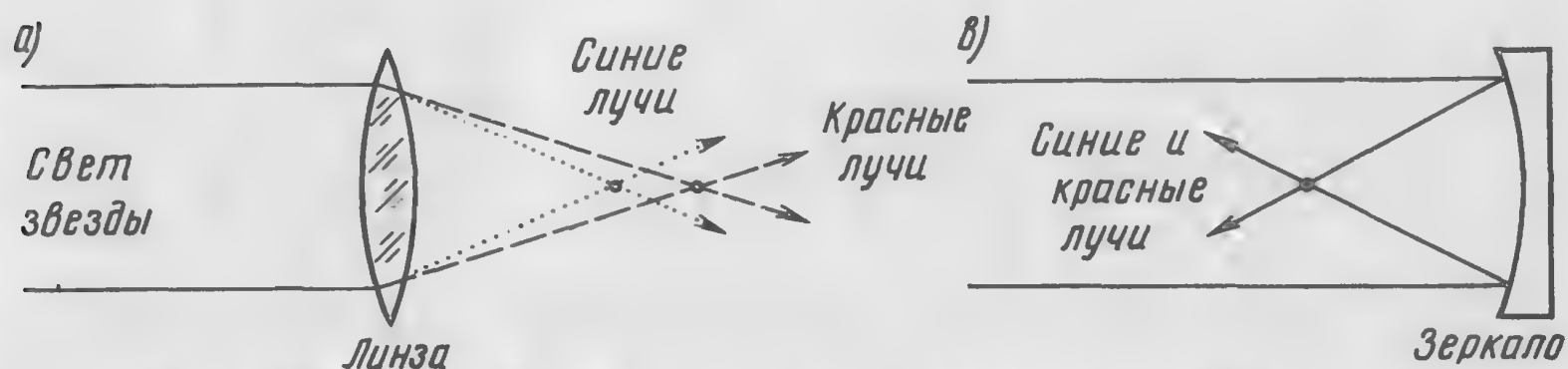


Рис. 2.13. Свет, сфокусированный (a) линзой и (b) зеркалом.

мы будем их применять, так как каждый телескоп имеет по сравнению с другим достоинства и недостатки.

Небольшие телескопы для любителей астрономии могут быть любой конструкции. Рефракторы требуют меньшего ухода. Однако рефлекторы относительно дешевле и их легче сделать. Среди любителей астрономии в США очень популярен 6-дюймовый телескоп-рефлектор системы Ньютона¹.

Большие рефракторы используются там, где наиболее важны качество изображения и разрешающая сила, как, например, для наблюдения деталей на поверхности планет или при наблюдении *двойных звезд* (см. раздел 3.21).

Гигантские рефлекторы используются для наблюдения очень слабых, очень далеко расположенных объектов наблюдаемой Вселенной. Рефлекторы могут быть сконструированы так, что луч света будет иметь ломаный путь внутри телескопа, отражаясь сначала от главного зеркала, потом от вторичного. Это приводит к уменьшению длины таких телескопов и к возможности помещения их внутри куполов меньшего размера, чем у рефракторов. Главное зеркало может поддерживаться снизу, так что оно не прогибается под действием силы тяжести, как линзы.

Большие рефлекторы дешевле и легче строить, причем они являются более экономичными в эксплуатации, чем рефракторы. Астрономы конструируют телескопы еще больших размеров. *Многозеркальный телескоп* (МЗТ) — это новый тип телескопа для наблюдений в видимом и инфракрасном диапазонах. МЗТ собирает свет с помощью шести 180-сантиметровых зеркал, которые действуют синхронно, как одно 435-сантиметровое зеркало. Полученное изображение поддерживается электронной системой управления с использованием маленьких подвижных зеркал, лазеров и компьютеров.

Таблица 2. 2. Пять самых больших в мире телескопов-рефлекторов

Название обсерватории	Местоположение	Размер зеркала	
		в дюймах	в метрах
1. Специальная астрофизическая АН СССР	Гора Пастухова, СССР	236	6
2. Паломарская	Гора Паломар, Калифорния, США	200	5
3. Смитсоновская астрофизическая	Гора Хопкинс, Аризона, США	176 ²	4,5
4. Межамериканская	Серро Тололо, Чили	158	4
5. Национальная Китт Пик	Район Туксона, Аризона, США	158	4

¹ В СССР начался выпуск любительских телескопов-рефлекторов «Алькор». — Прим. ред.

² МЗТ (см. раздел 2.23).

(a) Где расположен самый большой телескоп южного полушария?

(b) Каковы его размеры?

(a) Межамериканская обсерватория, Серро Тололо, Чили.

(b) 4 м.

24. Так как наблюдательное время на телескопах имеет большой спрос, ни один астроном не имеет права засиживаться у гигантского телескопа и рассматривать в него звезды глазом. Вместо этого свет звезды (непосредственно или после того, как он пройдет через системы электронного воспроизведения изображения) регистрируется фотографической пленкой либо же в той или иной форме кодируется в банке данных¹ для последующего тщательного изучения многими учеными.

Часто к телескопу присоединяют прибор, который называется *спектрографом*. Свет звезд состоит из смеси цветов, т. е. представляет собой набор излучения разных длин волн. Как вы увидите в третьей главе, астрономы получают большую информацию о звездах, изучая отдельные длины волн из общего набора.

Спектрограф разлагает свет звезд на компоненты по длинам волн. Свет попадает в спектрограф через узкую щель и далее проходит через *коллиматорную линзу*, которая создает пучок параллельных лучей. Призма или дифракционная решетка² разлагают этот свет на отдельные цвета (длины волн). Камера регистрирует спектр с помощью фотографической пластинки.

Вы сами можете получить солнечный спектр. Поместите зеркальце в ванночку с водой таким образом, чтобы оно было погружено в воду и прислонено к боковой поверхности ванночки (рис. 2.14). Поставьте ванночку на яркий солнечный свет так, чтобы лучи Солнца падали на зеркало. Слегка подвигайте зеркальце до тех пор, пока вы не увидите спектр на потолке или на стене.

Каково назначение спектрографа?

Разлагать и фотографировать световые волны различных длин.

¹ «Банк данных» — современный термин для общего обозначения хранилища однотипной информации, чаще всего с использованием памяти электронно-вычислительных машин. — Прим. ред.

² Дифракционная решетка — оптическое приспособление для разложения света в спектр. Представляет собой совокупность большого количества параллельных щелей в непрозрачном экране либо отражающих зеркальных полосок (штрихов), равноотстоящих друг от друга. — Прим. ред.

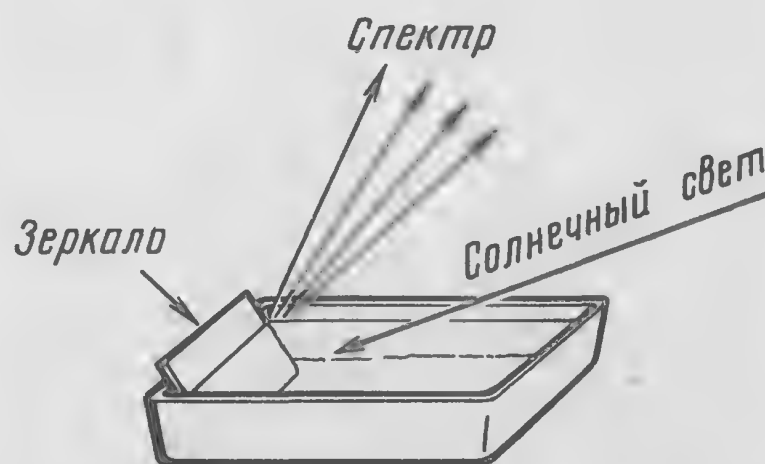


Рис. 2.14. Получение спектра.

25. Новые виды телескопов позволяют сегодня астрономам «заглянуть» дальше в космос и «увидеть» картины более заманчивые, чем когда-либо в прошлом.

Радиотелескопы дают такую информацию о Вселенной, какую не может дать ни один оптический телескоп. В радиотелескопах используются огромные изогнутые «чаши», которые собирают и фокусируют *радиоволны* из космоса.

Вы не можете непосредственно видеть, слышать или фотографировать эти волны. Вместо этого антенна принимает радиоволны, настроенный на них приемник усиливает сигналы и записывает их «электронное изображение». Запрограммированные надлежащим образом ЭВМ преобразуют эти электронные сигналы в оптическое изображение радиисточника, которое мог бы увидеть на небе человек с «радиовидением».

Радиоастрономия зародилась в 1931 г., когда Карл Янский открыл радиоволны, идущие от Млечного Пути. За последние 20 лет были зарегистрированы радиоволны от различных источников, включая наше Солнце, некоторые планеты, галактики и загадочные небесные объекты, известные как квазары.

Рис. 2.15. Радиотелескоп.



Чтобы собирать радиоизлучение, имеющее большие длины волн, и давать высококачественные изображения, радиотелескопы должны быть очень большими. Самая большая в мире «чаша» имеет размер 300 м, она построена в естественном углублении — кратере вулкана в горах около Аресибо (Пуэрто-Рико)¹.

Самый большой в Соединенных Штатах — это 90-метровый радиотелескоп, который расположен в Национальной радиоастрономической обсерватории в Грин Бэнке (Западная Вирджиния).

Найдите «чашу» и приемную антенну радиотелескопа, показанного на рисунке 2.15, и объясните их назначение.

(a) антенна: принимает радиоволны;

(b) «чаша»: собирает радиоволны.

26. Радиотелескопы обладают рядом достоинств. Они позволяют нам «видеть» много небесных объектов, которые излучают мощный поток радиоволн, но мало видимого света. Они позволяют нам «видеть» радиоисточники, расположенные за теми облаками межзвездной пыли в нашей Галактике, которые не пропускают видимый свет звезд (в то время как радиоволны проходят через эти облака).

Земная атмосфера не поглощает и не рассеивает радиоволны, так что радиотелескопы могут использоваться и в облачную погоду, и в дневное время суток. «Чаши» у радиотелескопов намного крупнее, чем у рефлекторов, так что они могут собирать больше излучения и продвинуть наше «видение» намного дальше в таинственную глубь космоса.

Так же как и в случае с оптическими телескопами, увеличение количества и улучшение качества данных может быть достигнуто за счет роста размеров радиотелескопов. Метод, называемый *апертурным синтезом*, позволяет объединить наблюдения двух или более радиотелескопов, соединенных с электронно-вычислительными машинами; при этом как бы воспроизводится работа одной гигантской «чаши».

Самый мощный в мире радиотелескоп — *Большая антенная система* (VLA) — основной инструмент Национальной радиоастрономической обсерватории. Она заменяет работу полностью автоматизированного радиотелескопа диаметром 27 км. Эта установка, расположенная в центральной части штата Нью-Мексико, имеет 27 подвижных 25-метровых радиочаш. Во время работы они могут быть размещены на 72 наблюдательных стан-

¹ Самый большой поперечник (600 м) имеет советский радиотелескоп оригинальной конструкции РАТАН-600, сооруженный на Северном Кавказе близ станции Зеленчукской недалеко от 6-метрового оптического телескопа САО АН СССР. Самый большой радиотелескоп классической конструкции с единой полноповоротной чашей поперечником в 100 м действует в Эффельсберге (ФРГ). — Прим. ред.

циях и образовывать 351 двухантенную комбинацию. Эти двухантенные комбинации называются *интерферометрами*.

Сложная электронно-вычислительная машина управляет антеннами, обрабатывает наблюдательные данные и строит радиоизображения с разрешающей способностью, как у гигантского оптического фотографического рефлектора.

Метод *радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой* (РСДБ) объединяет наблюдения, выполненные на двух или более радиотелескопах, разнесенных на огромные расстояния друг от друга для получения новой информации о радиоисточниках.

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) располагает в составе *Сети дальней космической связи* радиотелескопами, расположенными на трех континентах. Станции в Калифорнии, Испании и Австралии используются как для целей космонавтики, так и для РСДБ-наблюдений. Каждое из них имеет устройство приема, передачи и обработки информации, а также средства связи друг с другом. Центр управления расположен в лаборатории реактивных двигателей в Калифорнии.

Перечислите, по крайней мере, три достоинства радиотелескопов.

1. Обнаруживают радиоисточники — объекты, которые излучают в основном в радиодиапазоне.

2. Выявляют источники, расположенные за облаками межзвездной пыли в области Млечного Пути, недоступные для оптических телескопов.

3. Работают при облачной погоде и в дневное время.

4. Выявляют источники радиоволн, которые находятся за пределами возможностей наших органов чувств.

27. В основе *инфракрасных телескопов* лежат рефлекторы со специальными приемниками теплового излучения в главном фокусе. Приемники охлаждаются до температуры примерно 4К и надежно экранируются для уверенной регистрации *инфракрасных лучей*, приходящих именно из космоса, а не потоков тепла от людей, оборудования и стен обсерватории.

Водяной пар, содержащийся в воздухе, сильно поглощает инфракрасные лучи. Фрэнк Лоу построил чувствительный инфракрасный приемник для астрономических исследований в 1963 г. Сегодня большие инфракрасные телескопы расположены на вершинах высоких гор, где над ними толщина атмосферы значительно меньше и воздух очень сухой.

Самый большой инфракрасный телескоп принадлежит Великобритании — это 3,8-метровый телескоп на Мауна Кеа (высота 4200 м) на Гавайях. Телескопы меньших размеров помещают на самолетах, воздушных шарах, ракетах и космических аппаратах.

Такие инфракрасные источники, как тела Солнечной системы, вновь сформировавшиеся звезды и межзвездные облака, являются относительно холодными и могут быть невидимы (см. раздел 2.10). Инфракрасные лучи лучше, чем более короткие видимые лучи, проходят через межзвездные облака, доставляя информацию о различных частях нашей Галактики. Они не теряются в лучах Солнца, поэтому инфракрасные телескопы могут работать день и ночь.

Почему инфракрасные телескопы располагаются в высокогорных засушливых районах?

В любом другом месте водяной пар, содержащийся в атмосфере, сильно поглощает инфракрасные лучи.

28. *Астрофизика высоких энергий* — это молодая, быстро развивающаяся область науки, где основная часть открытий была сделана в последнее десятилетие. *Ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-телескопы* с соответствующими приемниками запускают на орбитальных станциях за пределы земной атмосферы. Они улавливают излучение и передают данные для обработки на Землю.

Данные обрабатываются электронно-вычислительными машинами, которые могут выводить результаты на видеоэкран, хранить их и строить изображение в условных цветах.

С запущенного в 1978 г. спутника под названием «Международный ультрафиолетовый исследователь» (IUE) проводится большое количество наблюдений Солнца, горячих звезд, звездных атмосфер, межзвездных облаков, горячего газа галактического гало¹ и внегалактических источников.

Большое количество источников рентгеновских и гамма-лучей наблюдалось тремя беспилотными Орбитальными астрономическими обсерваториями высоких энергий (HEAO), запущенными в период с 1977 по 1979 г. HEAO эффективно расширили наше «видение» в рентгеновских лучах на такую же глубину в космосе, на какую проникают лучшие оптические и радиотелескопы.

Интереснейшие данные о неожиданных интенсивных всплесках космического излучения, пульсарах, возможных черных дырах, активных галактиках и далеких квазарах позволяют еще значительнее расширить наши представления о Вселенной².

Чем особенно интересны новые наблюдения с помощью ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-телескопов? Указание: обратитесь к разделам 2.3 и 2.10.

¹ О галактическом гало см. раздел 5.3.

² Аналогичные работы являются важной составной частью советской программы космических исследований. — Прим. ред.

Ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи приносят намного больше энергии, чем видимый свет. Они должны образовываться в результате процессов с чрезвычайно большим энерговыделением, природа которых еще далеко не выяснена.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал второй главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Объясните, почему, наблюдая звезды, мы видим Вселенную такой, какой она была много лет назад.

2. (а) Напишите основные составляющие электромагнитного спектра от самых коротких длин волн (наибольшая энергия) до самых длинных (наименьшая энергия).

(б) Объясните, каково общее свойство у всех электромагнитных волн.

3. Напишите основную формулу, связывающую длину волны с ее частотой.

4. Предположим, что вы наблюдаете на небе две звезды: голубую и красную. Объясните, как можно узнать, какая из них горячее.

5. Укажите три «окна прозрачности» (диапазона длин волн) в земной атмосфере в порядке их важности для наблюдательной астрономии.

6. Назовите две основные части телескопа и объясните их назначение.

7. Какой из перечисленных ниже телескопов (1 или 2) имеет:

(а) большую светосилу;

(б) большую разрешающую способность;

(с) большее увеличение.

Характеристика	Тип телескопа	
	Рефлектор (1)	Рефрактор (2)
Диаметр зеркального или линзового объектива	180 см	90 см
Фокусное расстояние объектива	750 см	15 м
Фокусное расстояние окуляра	5 см	1 см

8. Какие два фактора наиболее важны при характеристике телескопа?

9. Каково назначение спектрографа?

10. Перечислите три достоинства радиотелескопа

11. В чем преимущество телескопов, установленных на космических аппаратах?

12. Выберите подходящий современный прибор для соответствующих наблюдений.

(a) Самые слабые и далекие радиисточники.

(b) Горячие звезды и газ.

(c) Видимые, но относительно холодные небесные источники.

(d) Источники рентгеновских и гамма-лучей.

1. Астрономическая обсерватория высоких энергий (HEAO)

2. Международный ультрафиолетовый исследователь (IUE)

3. Многозеркальный телескоп (МЗТ)

4. Большая антенная система (VLA)

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Звездный свет излучается в результате электромагнитных процессов в веществе звезд. Световые волны распространяются невероятно быстро—со скоростью примерно 300 000 км/с. Но звезды удалены от Земли на триллионы километров и поэтому, пока свет достигнет Земли, пройдет много лет. Следовательно, мы видим звезды такими, какими они были много лет назад, когда их свет только начал путешествие к Земле (разделы 1, 5, 10).

2. (a) Гамма-лучи, рентгеновские лучи, ультрафиолетовое излучение, видимый свет, инфракрасное излучение, радиоволны. (b) Все электромагнитные волны двигаются в пустоте с одной и той же скоростью — скоростью света — примерно 300 000 км/с (разделы 3, 5, 10).

3. Длина волны = $\frac{\text{скорость волны}}{\text{частота}}$ (разделы 2, 6, 7, 8).

4. Голубая звезда горячее. По закону излучения Вина, чем короче длина волны, на которой звезда излучает максимум энергии, тем она горячее. У голубого цвета длина волны короче, чем у красного (разделы 2, 10).

5. Оптическое, радио, инфракрасное (раздел 11).

6. (1) Объектив: собирает свет и строит изображение.

(2) Окуляр: увеличивает изображение, построенное объективом (разделы 12, 13, 14, 15).

7. (a) 1; (b) 1; (c) 2 (разделы 12, 19, 20).

8. Размер и качество объектива (разделы 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22).

9. Разлагать световой пучок на составляющие с различной длиной волн и фотографировать результат (раздел 24).

10. Обнаруживает радиоисточники; выявляет радиоисточники, скрытые за облаками межзвездной пыли в области Млечного Пути, которые недоступны для оптического видения; работает в облачную погоду и в дневное время суток; выявляет радиоисточники, которые нельзя в принципе увидеть глазом (разделы 25,26)

11. Космические корабли выносят телескопы за пределы земной атмосферы, откуда можно вести наблюдения в гамма-лучах, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах, недоступных с поверхности Земли. Здесь нет атмосферного размывания изображения и радиопомех, так что космические телескопы могут работать практически на пределе своей разрешающей способности (разделы 11, 19, 21, 25, 27, 28).

12. (a) 4; (b) 2; (c) 3; (d) 1 (разделы 23, 26, 27, 28)

ЗВЕЗДЫ

Посмотрите на звезды! Посмотрите,
посмотрите на небеса!
О, посмотрите на этих огненных жи-
телей небес!

Жерард Мэнли Хопкинс.

«Звездная ночь»

1. Звезды — огромные пылающие шары, расположенные за пределами земной атмосферы на расстоянии в триллионы километров. На протяжении многих столетий астрономов волновала сложная задача определения расстояний до звезд.

Для определения расстояний до соседних звезд используется метод *параллакса*. При этом тщательно измеряется положение звезды по отношению к другим звездам. Через 6 месяцев, когда земные телескопы переместятся в диаметрально противоположную точку орбиты Земли, проводится повторное измерение положения звезды.

Наблюдателю кажется, что по мере движения Земли вокруг Солнца близкие звезды перемещаются вперед и назад на фоне более отдаленных звезд. Видимое угловое изменение положения звезды при последовательном наблюдении из разных точек земной орбиты называется *звездным параллаксом*.

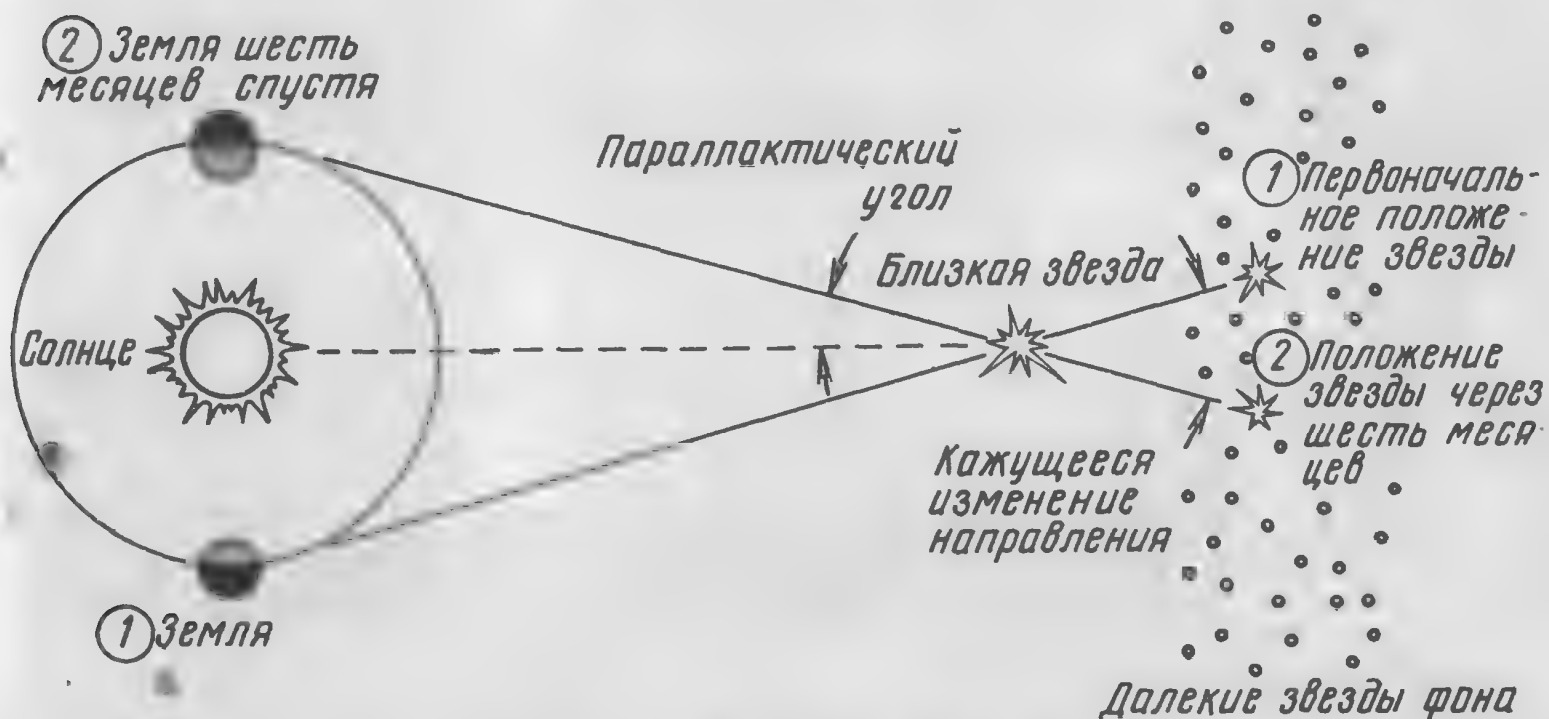


Рис. 3.1. Звездный параллакс.

Расстояние до звезды вычисляется с использованием *параллактического угла* — половины видимого углового изменения ее положения. Звездные параллаксы очень невелики и измеряются в секундах дуги, где $1'' = \frac{1^\circ}{3600}$. Один *парсек* (пк) — это расстояние до звезды, которая имеет параллакс в 1 секунду дуги ($1''$). Один парсек составляет примерно 30 триллионов километров, или 3,26 св. года.

Для вычисления расстояния до любой звезды на основании измеренного параллакса применяется формула:

$$\text{расстояние до звезды (пк)} = \frac{1}{\text{параллакс}''}$$

Звездный параллакс уменьшается с увеличением расстояния до звезды. Он может быть измерен с точностью до одной сотой доли секунды ($0,01''$), что соответствует расстоянию в 100.pk (326 св. лет). Однако лишь исчезающе малая часть звезд находится на расстоянии ближе 20.pk и обладает достаточно заметными параллаксами, чтобы их можно было измерить с точностью 10% и выше. Для подавляющего же большинства звезд должны использоваться другие методы определения расстояний.

Хотите узнать, что значит «близко» применительно к звездам? Если измеренный параллакс Альфы Центавра составляет $0,76''$, то, значит, она расположена на расстоянии 1,3.pk, или 4,3 св. года (40 триллионов километров), от Земли. Это ближайшая видимая глазом звезда; она находится в южной полушфере неба. Если измеренный параллакс Сириуса составляет $0,38''$, то каково его расстояние от Земли в (а) парсеках? (b) св. годах? (с) километрах (приближенно)?

(а) 2,6.pk; (b) 8,5 св. лет; (с) 80 триллионов км.

Решение: (а) $\frac{1}{0,38''}$; (b) $2,6 \text{ pk} \times 3,26 \frac{\text{св. лет}}{\text{пк}}$;

(с) $2,6 \text{ pk} \times 30 \text{ триллионов } \frac{\text{км}}{\text{пк}}$.

Сириус — ближайшая видимая в наших широтах звезда.

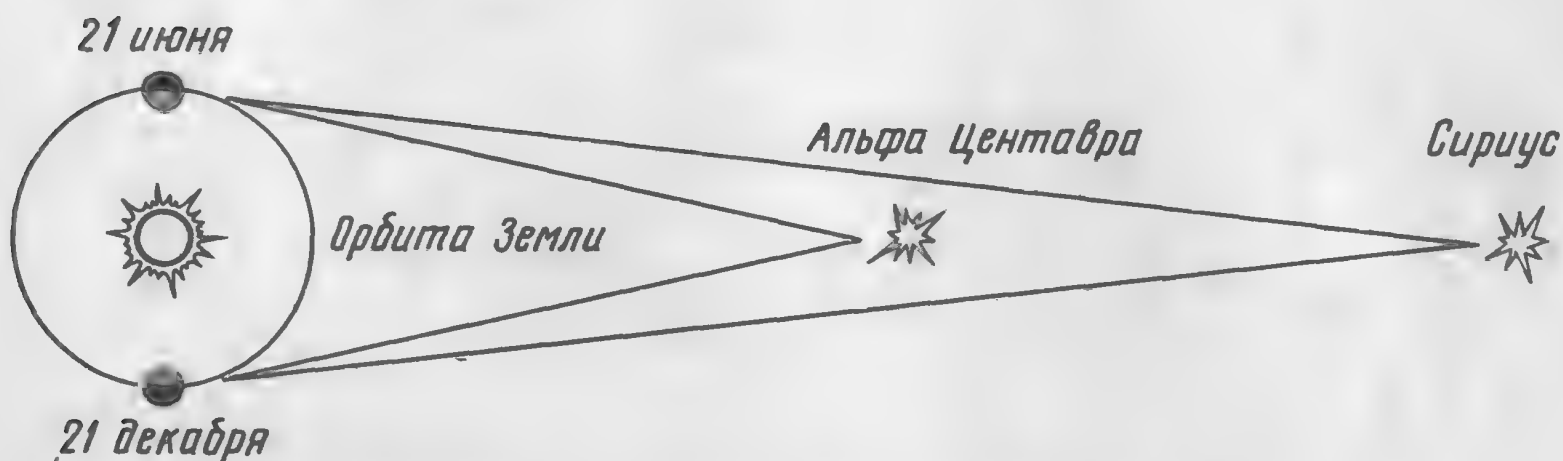


Рис. 3.2. Применение метода параллакса.

2. Несмотря на то что звезды удалены от нас на огромные расстояния, мы многое о них знаем. Анализируя звездный свет, астрономы получают удивительное количество информации.

Вы помните, что свет состоит из смеси волн различных длин. Когда звездный свет «рассортируется» на компоненты, спектр дает много информации о звезде. *Спектроскопия* — это наблюдение и анализ спектров. Существуют спектры трех различных типов, показанные на рисунке 3.3.

Опишите, как выглядит каждый из них.

(а) *Непрерывный спектр*: постепенный переход через все цвета радуги;

(б) *спектр с яркими (или эмиссионными) линиями* — набор ярких цветных линий (различных длин волн);

(с) *спектр с темными линиями (или линиями поглощения)* — набор темных линий на фоне непрерывного спектра.

3. Каждый тип спектра создают атомы. Атом — это самая малая частица химического элемента, которая может существовать самостоятельно.

Сегодня известно более сотни элементов, и каждый из них имеет свой, непохожий на другие, атом. Атом любого элемента содержит положительно заряженное ядро, окруженное таким количеством отрицательно заряженных электронов, чтобы сделать атом электрически нейтральным. Поэтому в нормальном состоянии атомы электрически нейтральны. Электроны могут двигаться только по «разрешенным» орбитам определенных радиусов. Каждый элемент имеет свой собственный набор «разрешенных» электронных орбит.

На каждой орбите электроны обладают определенной энергией. Невозбужденный атом в *основном состоянии* имеет наименьшую возможную энергию. Если сообщить этому атому дополнительную энергию, то один или несколько электронов могут перейти на энергетически более высокую орбиту. Когда электрон спускается обратно на прежнюю орбиту, атом излучает энергию в виде порции света, называемой *фотоном*.



Рис. 3.3. Три типа спектров.

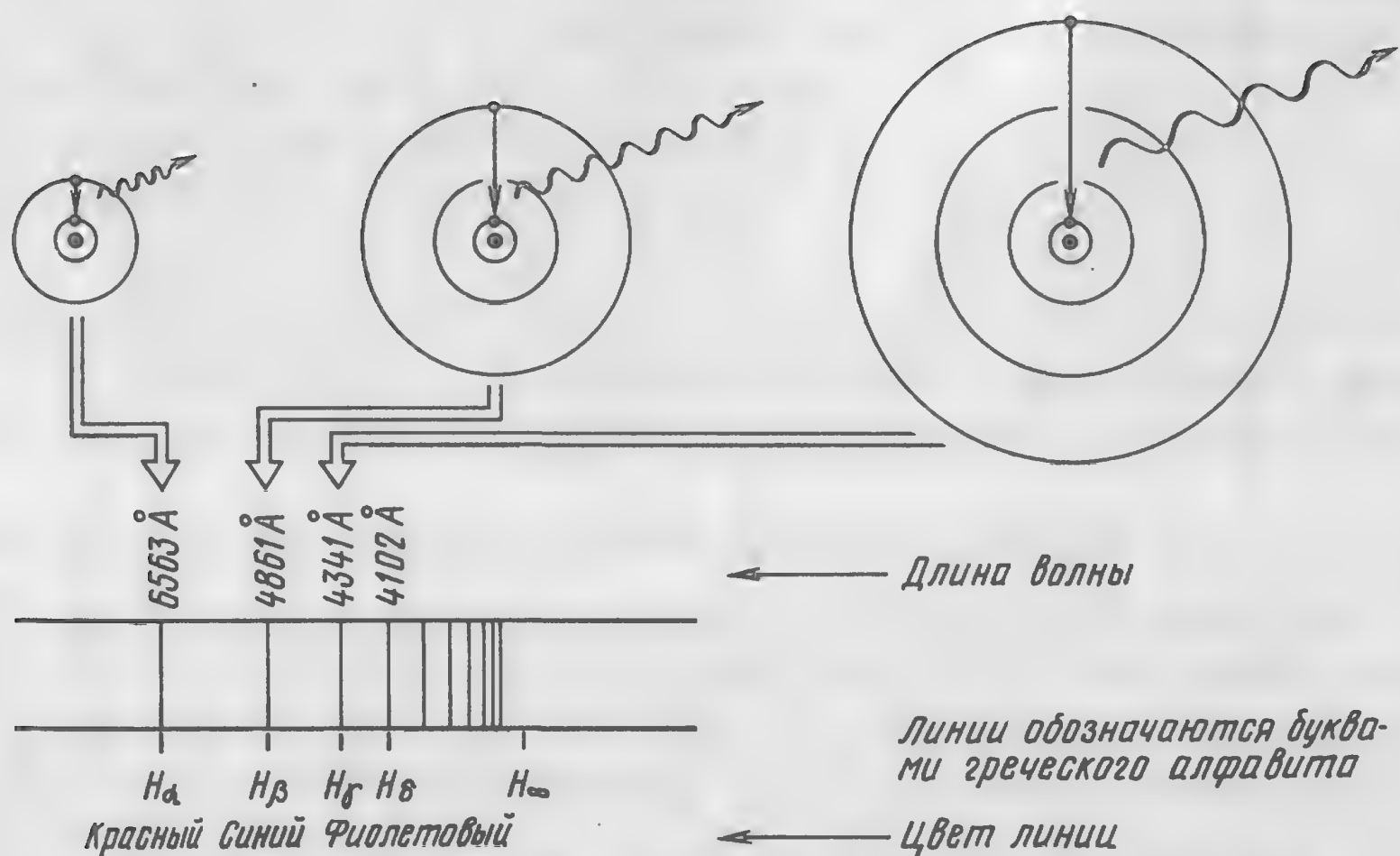


Рис. 3.4. Происхождение светлых эмиссионных линий водорода.

Атом способен поглотить такое количество энергии, что один или несколько его электронов могут быть совершенно оторваны. Атом, который приобретает в результате этого положительный заряд, называется *ионом*.

Яркие цветные эмиссионные линии образуются в тех случаях, когда электроны переходят с более высоких орбит на более низкие. Так как различные типы нейтральных или ионизированных атомов имеют индивидуальный набор орбит, то каждый химический элемент обладает своим собственным набором ярких цветных эмиссионных линий. Например, рисунок 3.4 показывает набор ярких эмиссионных линий водорода.

Соответственно темные линии поглощения образуются, когда атом поглощает проходящий через него свет и электроны переходят на более высокие орбиты. На рисунке 3.5 в качестве



Рис. 3.5. Происхождение темных линий поглощения водорода.

примера показано происхождение двух темных линий поглощения водорода.

Почему атомы испускают свет различных цветов (разных длин волн)?

Каждый цвет (длина волны) соответствует электрону, переходящему с какой-либо определенной более высокой орбиты на какую-либо определенную более низкую.

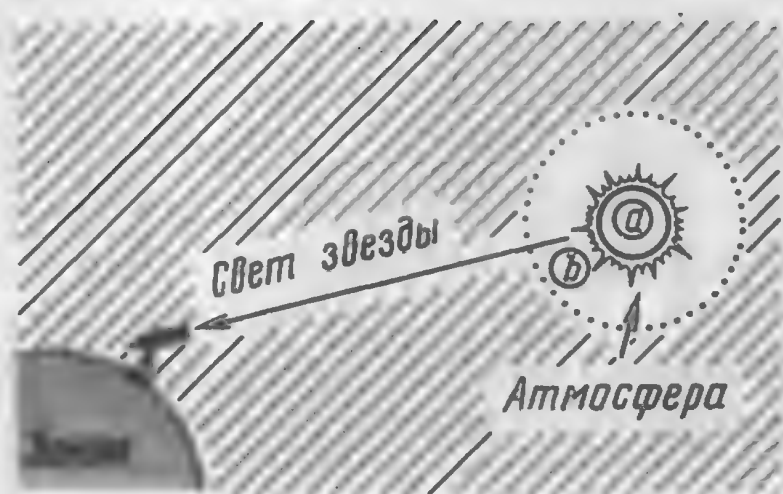


Рис. 3.6. Образование звездного спектра.

4. В звездных спектрах преобладают наборы темных линий, пересекающих непрерывную полосу цветов (см. раздел 6).

Звезды — это светящиеся газовые шары, где различные атомы испускают свет всех цветов. Свет от непрозрачных верхних слоев звезды, называемых *фотосферой*, являет собой *непрерывный спектр* цветов.

Перед тем как отправиться в космос, свет от фотосферы должен пройти через *атмосферу* звезды. В более холодной атмосфере атомы поглощают некоторые цвета, создавая темные линии поглощения, которые и дают возможность опознать химические элементы, входящие в состав звездной атмосферы.

Определите по рисунку 3.6 те области звезды, где образуются непрерывный спектр и спектр поглощения.

(а) непрерывный спектр; (b) спектр поглощения.

5. Первой звездой, у которой проанализировали темные линии спектра, было наше Солнце. В начале XIX в. Йозеф Фраунгофер насчитал более шестисот таких линий, называемых теперь *фраунгоферовыми линиями*.

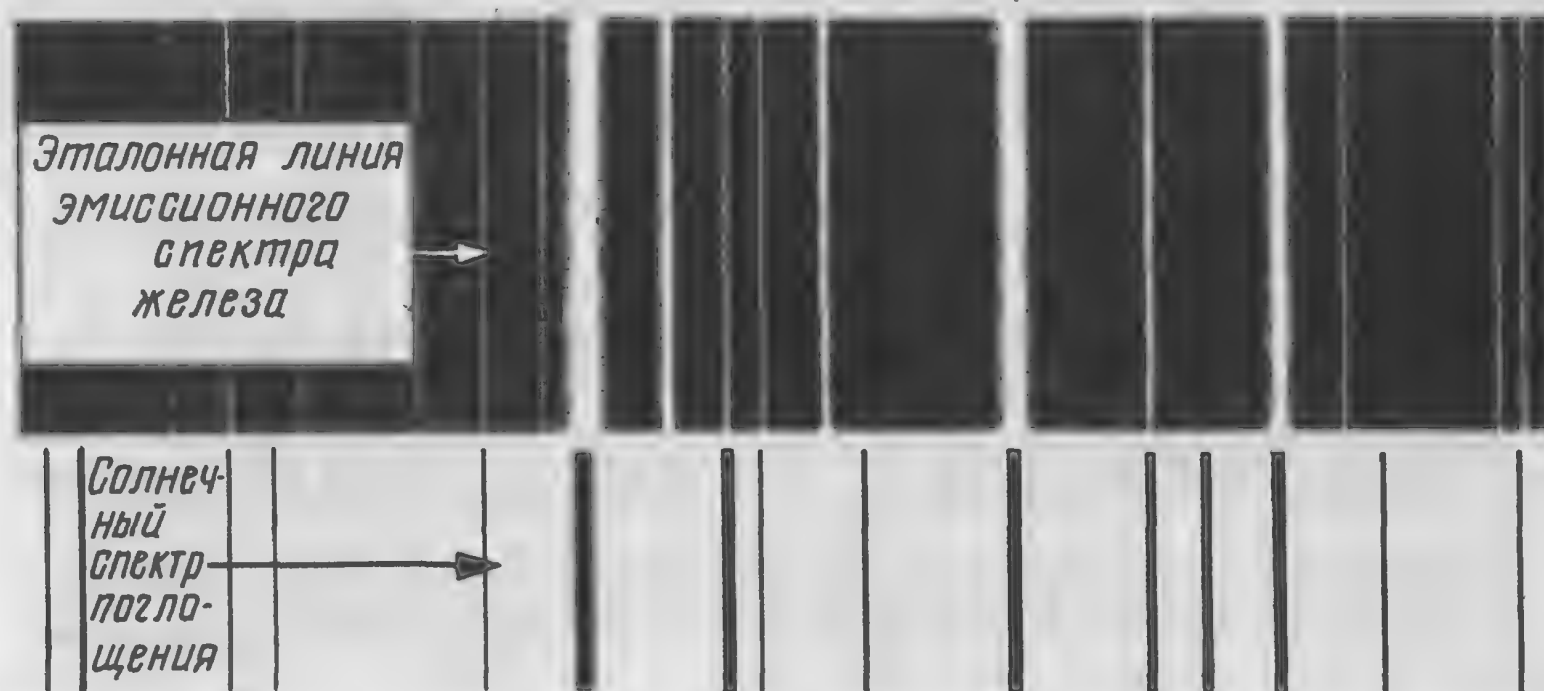


Рис. 3.7. Солнечный спектр поглощения в сравнении с эмиссионным спектром железа.

С того времени астрономы занесли в каталоги тысячи темных линий солнечного спектра. Сравнивая их со спектральными линиями, образованными различными химическими элементами на Земле, они отождествили на Солнце более 60 химических элементов.

Как может быть определен химический состав звезд (при условии, что звезды и их атмосферы состоят из одних и тех же составных частей)?

Путем анализа темных линий в спектрах звезд и сравнения их с теми, которые соответствуют различным химическим элементам на Земле.

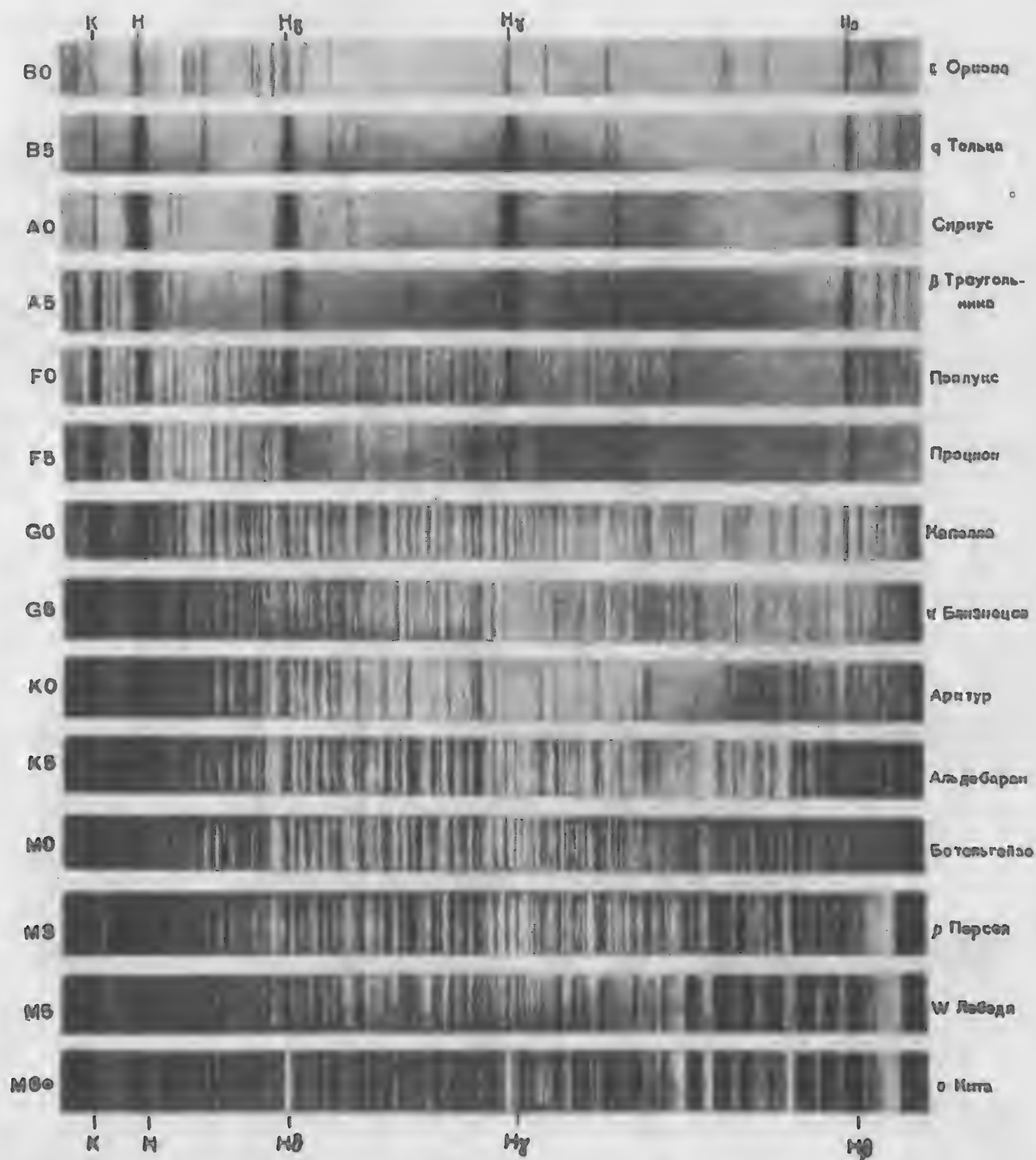


Рис. 3.8. Спектры звезд различных спектральных классов.

6. Спектры поглощения используются для классификации звезд по семи различным типам, называемым *спектральными классами* (рис. 3.8).

В спектрах некоторых звезд линий водорода больше, чем в спектре Солнца. Одно время астрономы думали, что в этих звездах больше водорода, чем в других. Они классифицировали звезды по интенсивности водородных линий в их спектрах от самых сильных (класс А) до самых слабых (класс Q) в алфавитном порядке.

Сегодня мы знаем, что все наблюдаемые звезды приблизительно одинаковы по составу. Все они состоят в основном из водорода и гелия. А различия в спектрах проистекают из-за огромной разницы в *поверхностных температурах* звезд.

Сегодня звезды распределяются по спектральным классам соответственно температуре атмосферы, но для их обозначения остались традиционные буквы. Когда звезды расположены в порядке уменьшения температуры, от самых горячих до самых холодных, спектральная классификация выглядит так: О В А F G K M. Студенты, изучающие астрономию, запоминают этот странный порядок букв, говоря: «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me» («О, будь хорошей девочкой, поцелуй меня»).

Что лежит в основе определения спектрального класса звезды?

Температура поверхности.

7. Спектры горячих и холодных звезд очень непохожи. Исследуйте рисунок 3.8. Фотографии воспроизводят классы звездных спектров, расположенных в порядке уменьшения температуры.

В таблице 3.1 представлены спектральные классы звезд в порядке убывания температуры, примерные поверхностные температуры звезд этих классов и их основные характеристики.

Таблица 3. 1. Характеристики спектральных классов

Спектральный класс	Приблизительная температура (в кельвинах)	Основные характеристики классов
О	> 30 000	Горячие звезды с линиями ионизированного гелия
В	10 000—30 000	Линии нейтрального гелия
А	7 500—10 000	Очень сильные линии водорода
F	6 000—7 500	Линии ионизированного кальция; много линий металлов
G	4 500—6 000	Сильные линии ионизированного кальция; много сильных линий ионизированного и нейтрального железа и других металлов
K	3 500—4 500	Сильные линии нейтральных металлов
M	2 000—3 500	Полосы молекул окиси титана

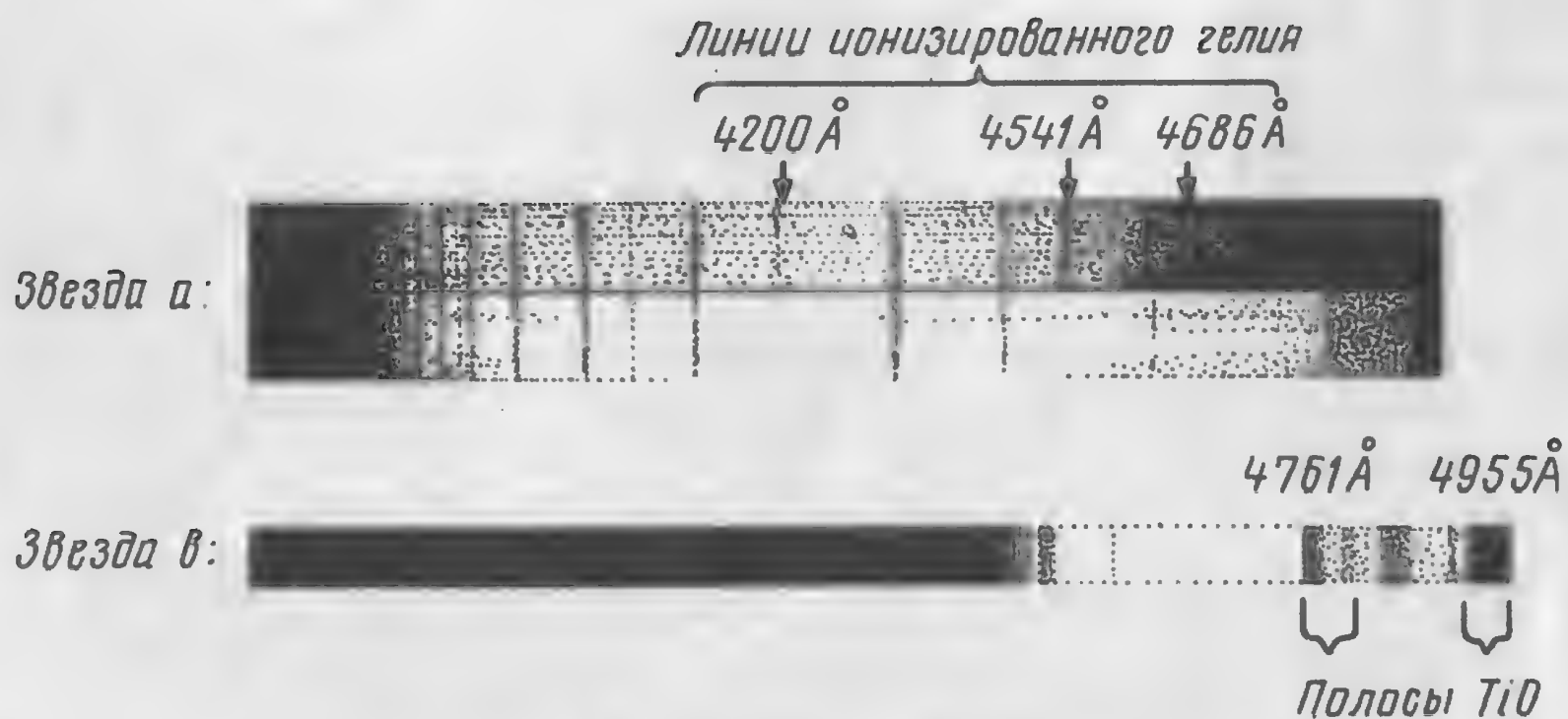


Рис. 3.9. Спектр звезды.

Вы можете установить спектральный класс звезды и ее вероятную температуру, сравнивая ее спектр с этими фотографиями и характеристиками классов.

Укажите спектральный класс и предполагаемую температуру каждой из звезд, чьи спектры показаны на рисунке 3.9.

(а) класс О ($>30\,000\text{ K}$); (б) класс М ($2000\text{—}3500\text{ K}$).

8. Атомная теория объясняет, почему горячие голубые звезды (класс О) и холодные красные (класс М) характеризуются столь различными спектрами, несмотря на то что они состоят практически из одних и тех же составных частей.

Для каждого химического элемента существуют характерные температура и плотность, при которых он эффективнее всего образует видимые линии поглощения.

При экстремально высоких температурах (как у О-звезд) атомы газа *ионизированы* (или разбиты). Выживают только очень прочно связанные атомы, такие, как однократно ионизированный гелий. Поэтому в спектре преобладают линии ионизированных атомов.

Когда температура ниже (как у G-звезд, к которым относится наше Солнце), атомы металлов, например железа и никеля, остаются нейтральными и не разрушаются. При низких температурах (как у М-звезд) могут существовать даже молекулы титана.

Объясните, всегда ли отсутствие характерных линий поглощения определенного элемента (например, водорода) в спектрах звезд означает, что звезда его не содержит.

Нет. Типы атомов, которые ответственны за видимые линии поглощения, определяются температурой звезды.



Рис. 3.10. Пространственная скорость.

9. Пространственная скорость звезды (ее движение в космосе по отношению к Солнцу) составляет многие километры в секунду. Она имеет два компонента: *лучевую скорость*, или скорость вдоль луча зрения к Солнцу или от Солнца, и *собственное движение*, или изменение углового положения звезды за год по отношению к другим гораздо более удаленным звездам.

Лучевая скорость звезды определяется из анализа ее спектра. *Доплеровское смещение* — это эффект, открытый Христианом Доплером, который применим ко всем волновым движениям. Когда источник волн и наблюдатель сближаются или двигаются в противоположные стороны, то длины волн изменяются.

Звездные спектральные линии (длины волн) любого данного элемента, часто железа, сравнивают с эталонным спектром (см. рис. 3.7). Если звезда движется к нам, то эти длины волн становятся короче (*фиолетовое смещение*). Если звезда движется от нас, эти длины волн увеличиваются (*красное смещение*).

Собственное движение звезд устанавливают по измерениям с интервалом в 20—30 лет. Среднее собственное движение всех звезд, видимых невооруженным глазом, меньше 0,1 секунды дуги ($0,1''$) за год. При таких скоростях вы не заметите каких-либо изменений вида вашего любимого созвездия даже в течение всей



Рис. 3.11. Красное смещение спектральных линий.



Сегодня
Через 50 тысяч лет
Рис. 3.12. Собственное движение звезд Большой Медведицы.

жизни. Но если бы вы могли перенестись в будущее на 50 000 лет и посмотреть на небо, то его вид заметно отличался бы от современного.

Каково среднее изменение углового положения звезды, видимой невооруженным глазом, за 50 000 лет?

5000 секунд дуги, или $1,39^\circ$ (примерно в три раза больше углового диаметра Луны, который составляет $0,5^\circ$).

Решение: $0,1''$ за год $\times 50\,000$ лет = $5000''$ / год.

10. Другую информацию о звездах можно получить путем тщательных измерений *формы спектральных линий*.

Уширение линий вследствие столкновений атомов указывает на плотность газа.

Уширение линий также указывает на осевое вращение звезды вокруг своей оси. Если оно наблюдается, то по уширению линий можно установить нижний предел скорости вращения звезды вокруг своей оси.

По *магнитному уширению* определяется средняя напряженность магнитного поля. В магнитном поле происходит расщепление либо уширение спектральных линий.

Эти различные типы уширений линий неразличимы невооруженным глазом и определяются путем тщательного анализа формы линий с помощью чувствительных фотометров.

Напишите три характеристики звезды, связанные с формой спектральных линий.

(1) плотность; (2) осевое вращение; (3) напряженность магнитного поля.

11. Напишите короткий параграф, суммирующий ваше понимание того, как астрономы определяют различные характеристики звезд по их спектрам.

Ваше описание должно включать следующие пункты: (1) химический состав, определяемый по характерным линиям опреде-

ленных элементов; (2) температура — из спектральных классов; (3) скорость звезды по направлению к нам или от нас — из доплеровского смещения линий; (4) плотность, осевое вращение и магнитное поле — из формы линий.

★ 12. Астрономы различают *видимый блеск* звезды — какой звезда видна на небе — и *абсолютную светимость* звезды — действительное количество света, излучаемое в пространство каждую секунду.

Звезда, которую мы знаем лучше всего, — это наше Солнце. Абсолютная светимость других звезд часто выражается в величинах солнечной светимости, которая составляет $3,83 \cdot 10^{26}$ Вт. Светимость Солнца эквивалентна 3830 миллиардам триллионов стоваттных ламп, светящих одновременно.

Светимость наиболее ярких звезд почти в 100 000 раз превышает светимость Солнца. Самые слабые известные нам звезды испускают лишь одну миллионную часть излучения нашего Солнца.

Звезда Ригель из созвездия Ориона излучает света примерно в 60 000 раз больше нашего Солнца. Можете ли вы объяснить, почему же тогда Солнце выглядит ярче, чем Ригель?

Ригель находится намного дальше от Земли (815 св. лет), чем Солнце (примерно 150 000 000 км). Видимый блеск звезды зависит как от ее светимости, так и от расстояния до нее.

13. Глядя на звезды, нельзя указать, какая из них обладает большей светимостью. Свет распространяется одинаково во всех направлениях от источника, и вследствие этого его количество, приходящееся на единицу площади, уменьшается как квадрат расстояния от звезды.

Таким образом, если две звезды имеют совершенно одинаковую светимость, но одна из них находится от нас в 2 раза дальше, чем другая, то более далекая будет выглядеть только в $1/2^2 = 1/4$ от блеска ближней, потому что в наш глаз попадает от нее лишь $1/4$ часть света.

Наше Солнце выглядит чрезвычайно ярким из-за близости к Земле. Если бы оно было расположено в 100 000 раз дальше, насколько менее ярко оно бы выглядело?

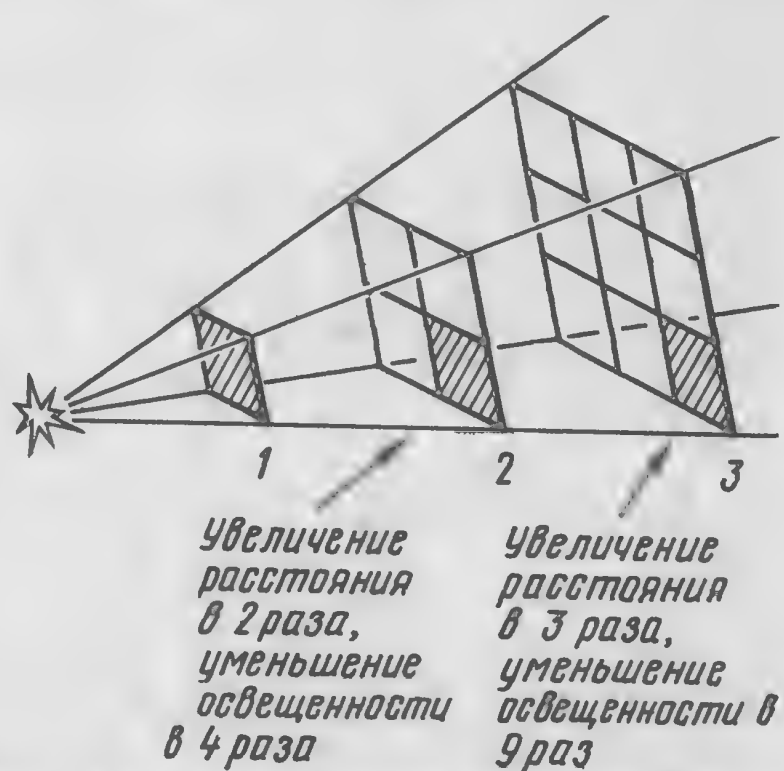


Рис. 3.13. Уменьшение видимой яркости с расстоянием.

В 10 млрд. раз слабее, или примерно так же, как бело-голубая звезда Сириус.

Решение: $\frac{1}{100\,000^2} = \frac{1}{10\,000\,000\,000}$.

14. Видимая звездная величина — это мера того, насколько яркой выглядит звезда на небе (см. раздел 1.7). Современная шкала звездных величин определяет, что звезды 1-й звездной величины ровно в 100 раз ярче, чем звезды 6-й звездной величины.

Это соотношение выбрано благодаря особенностям зрительного восприятия изменения блеска звезд. То, что мы воспринимаем глазом как линейное увеличение блеска (разница в одну звездную величину), точно соответствует реальному увеличению блеска в геометрической прогрессии (ярче в 2,51 раз).

По разнице звездных величин можно определить относительный блеск звезд. В таблице 3.2 приведены приблизительные отношения блеска звезд, соответствующие определенной разнице звездных величин.

Таблица 3. 2. Разница звездных величин и отношение блеска

Разница звездных величин	Отношение блеска
0,0	1 : 1
1,0	2,5 : 1
2,0	6,3 : 1
3,0	16 : 1
4,0	40 : 1
5,0	100 : 1
6,0	251 : 1
10,0	10000 : 1
15,0	1 000 000 : 1
20,0	100 000 000 : 1
25,0	10 000 000 000 : 1

Вспомните, что наиболее яркие объекты неба характеризуются отрицательными звездными величинами, в то время как самые большие положительные относятся к самым слабым объектам (см. раздел 1.7).

Познакомьтесь с таблицей 3.3.

Во сколько раз Солнце выглядит ярче, чем Сириус? Объясните.

В 10 млрд. раз ярче.

Решение. Различие в звездных величинах составляет: $(-26,7) - (-1,5) \cong 25$; соответствующее соотношение блеска $10\,000\,000\,000:1$.

Таблица 8. 3. Примеры звездных величин

Объект	Видимая звездная величина
Солнце	—26,7
Венера (максимальный блеск)	— 4
Сириус	— 1,5
Антарес	1
Предел для невооруженного глаза	6,5
Предел для бинокля	10
Предел для 6-дюймового телескопа	13
Предел (визуальный) для 5-метрового телескопа	20
Предел (фотографический) для 5-метрового телескопа	23,5

15. *Абсолютная звездная величина* — это мера светимости, которая показывает, сколько света звезда действительно излучает в пространство. Если бы можно было расположить все звезды на одном и том же расстоянии от Земли, вы смогли бы увидеть, как они на самом деле отличаются по своей светимости.

Астрономы определяют абсолютную звездную величину как видимую звездную величину, которую имела бы звезда, отнесенная от нас на стандартное расстояние в 10 пк.

Если звезда расположена от нас дальше 10 пк, ее видимая звездная величина численно превосходит абсолютную. (Большие положительные звездные величины указывают на слабые объекты.) Например, *Полярная* звезда находится от нас на расстоянии 240 пк. Ее видимая звездная величина +2,3, в то время как абсолютная —4,6.

С другой стороны, если звезда расположена ближе 10 пк, ее видимая звездная величина численно меньше, чем абсолютная. Сириус удален от нас на 2,7 пк; его видимая звездная величина —1,5, а абсолютная +1,4.

Сравните две яркие звезды Денеб и Вега. Обратитесь снова к таблице 1.1, чтобы заполнить следующую табличку.

Звезда	Созвездие	Видимая звездная величина	Абсолютная звездная величина
Денеб	Лебедь	(a)	(b)
Вега	Лиры	(c)	(d)

А теперь скажите: (a) какая из них выглядит ярче?



Рис. 3.14. Абсолютная звездная величина.

- (b) У какой на самом деле больше светимость?
 (c) Что заставило вас по-разному ответить на (a) и (b)?

Табличка: (a) 1,25; (b) —7,3; (c) 0,0; (d) 0.5. (a) Вега (численное значение видимой звездной величины меньше, чем у Денеба). (b) Денеб (численное значение абсолютной звездной величины меньше, чем у Веги). (c) Разница в ответах явилась следствием различного расстояния этих звезд от Земли.

16. Различие между видимой звездной величиной (m) и абсолютной (M) называется *модулем расстояния*. Если это выразить формулой, то

$$m - M = 5 \log \left(\frac{\text{расстояние в парсеках}}{10} \right).$$

Видимая звездная величина измеряется непосредственно.

Эта формула поможет определить расстояние до очень далеких объектов, чьи параллаксы не могут быть измерены, но из анализа спектров могут быть установлены абсолютные звездные величины.

Используя рисунок 3.15, напишите модули расстояния для звезд, одна из которых (a) ближе; (b) дальше.

(a) 2,2; (b) 9,7.

17. Убедитесь, что вы поняли предыдущие идеи, ответив на следующие вопросы о четырех соседях Солнца, данные о которых приведены в таблице 3.4.

Таблица 3. 4. Четыре близкие звезды

Звезда	Видимая звездная величина	Абсолютная звездная величина	Спектральный класс	Параллакс
Альфа Центавра	0,0	4,4	G	0,745"
Альфа Дракона	4,7	5,9	K	0,176
Звезда Барнарда	9,5	13,3	M	0,552
Альтаир	0,8	2,2	A	0,197

Какая из звезд (a) самая горячая? (b) самая холодная? (c) выглядит самой яркой? (d) кажется самой слабой? (e) обладает наибольшей светимостью? (f) обладает наименьшей светимостью? (g) самая близкая? (h) самая далекая? Объясните ваши ответы.

(a) Альтаир, спектральный класс A; (b) звезда Барнарда, спектральный класс M; (c) Альфа Центавра, видимая звездная величина 0,0; (d) звезда Барнарда, видимая звездная величина

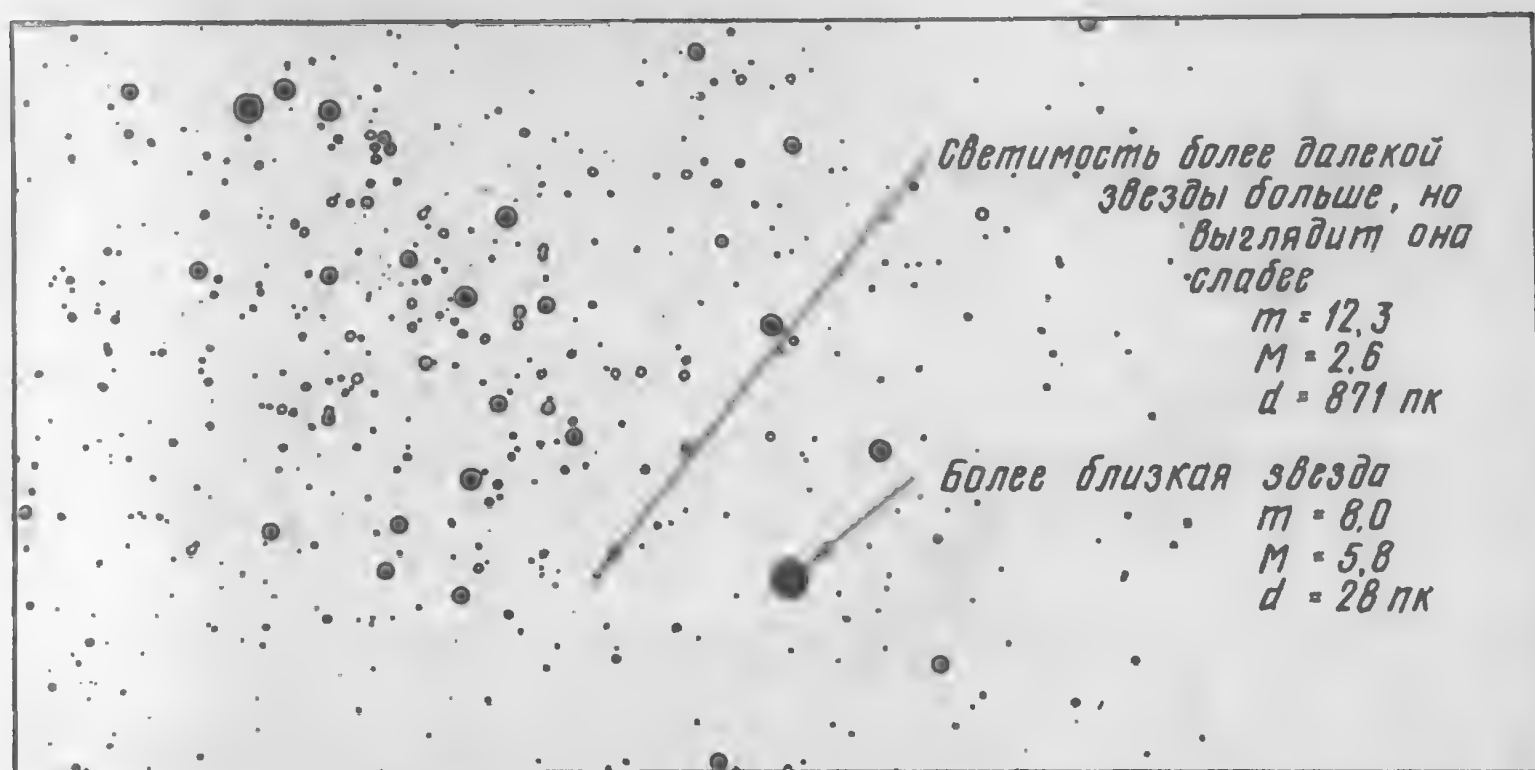


Рис. 3.15. В звездных скоплениях наглядно видно различие абсолютных и видимых звездных величин.

9,5; (e) Альтаир, абсолютная звездная величина 2,2; (f) звезда Барнарда, абсолютная звездная величина 13,3; (g) Альфа Центавра, расстояние $\frac{1}{p} = \frac{1}{0,745''} = 1,3$ пк; (h) Альфа Дракона, параллакс $0,176''$, или расстояние $\frac{1}{p} = \frac{1}{0,176''} = 5,7$ пк.

18. *Диаграмма Герцшпрунга — Рессела* (Г — Р) — важный график, который для многих звезд показывает зависимость светимости от температуры. Астрономы используют Г — Р-диаграмму для проверки своих теорий эволюции (обсуждаемых в четвертой главе) и внутреннего строения звезд.

Каждая точка на диаграмме Г — Р представляет звезду, чья температура (спектральный класс) отложена по горизонтальной оси, а светимость (абсолютная звездная величина) — по вертикальной.

Существенно то, что, когда несколько тысяч звезд, выбранных наугад, были нанесены на Г — Р-диаграмму, они легли вдоль определенных линий. На основании этого можно предположить, что существует связь между светимостью звезды и ее температурой. В противном случае точки были бы разбросаны по всему графику (рис. 3.16).

Примерно 90% звезд лежат вдоль полосы, называемой *главной последовательностью*, которая простирается от верхнего левого (горячие, с очень большой светимостью *голубые гиганты*) угла через всю диаграмму к нижнему правому (холодные, слабо-светящиеся *красные карлики*). Красные карлики — наиболее распространенный тип среди близлежащих к Солнцу звезд.

Большая часть оставшихся звезд попадает в верхнюю правую часть (холодные, яркие *гиганты* и *сверхгиганты*) или в левый нижний угол (горячие, с низкой светимостью *белые карлики*).

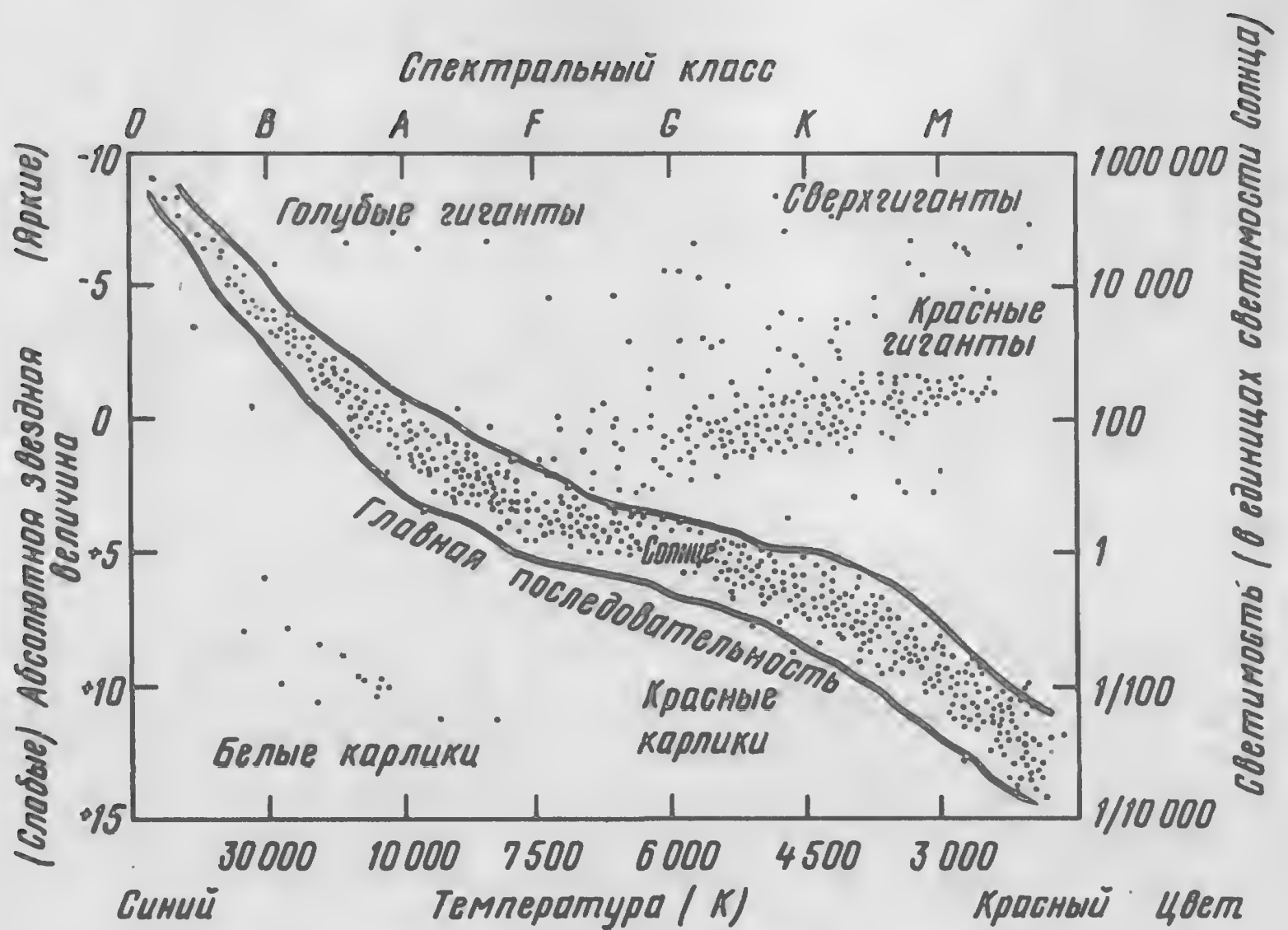


Рис. 3.16. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела.



Рис. 3.17. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела.

Определите положение указанных звезд на Γ — P -диаграмме, изображенной на рисунке 3.17 (абсолютная звездная величина указана в скобках). (a) Ригель ($-7,0$); (b) Вега ($0,5$); (c) Солнце ($4,7$); (d) Бетельгейзе ($-6,0$); (e) Звезда Барнарда ($13,3$).

(a) 1; (b) 3; (c) 4; (d) 2; (e) 5.

19. Положение звезды на главной последовательности определяется ее *массой*.

Главная последовательность — это последовательность звезд разной массы от наиболее массивных в верхней части до наименее массивных, обладающих наименьшей светимостью, в нижней части.

Эмпирическое *соотношение масса — светимость*, найденное на основании изучения двойных звезд¹, свидетельствует о том, что наиболее массивные звезды обладают и наибольшей светимостью. Светимость звезды примерно пропорциональна ее массе, возведенной в степень 3,5.

Масса Солнца составляет $2 \cdot 10^{33}$ г, что более чем в 100 000 раз превышает массу Земли. Вдоль главной последовательности массы звезд не изменяются в таких же огромных пределах, как светимости. Самые слабосветящиеся красные карлики имеют массу примерно в одну десятую солнечной, в то время как самые большие массы устойчивых звезд примерно в 60 раз больше солнечной (рис. 3.18).

Какая основная характеристика звезды определяет ее положение на главной последовательности диаграммы Γ — P , т. е. что определяет ее светимость и температуру?

Масса.

★ 20. Единственной звездой, которая расположена настолько близко, что астрономы могут непосредственно измерить ее *размер*, является наше Солнце.

Диаметр Солнца равен 1,39 млн. км. Это приблизительно 109 таких планет, как Земля, если их расположить в один ряд.

Если известна абсолютная температура и светимость звезды, то ее размер может быть вычислен на основании *закона излучения Стефана — Больцмана*, который гласит, что светимость звезды L пропорциональна квадрату радиуса R , умноженного на четвертую степень поверхностной температуры. В виде уравнения это записывается так: $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, где σ — постоянная Стефана — Больцмана (см. Приложение 2).

Размер звезд главной последовательности изменяется постепенно от больших бело-голубых гигантов до широко распростра-

¹ О двойных звездах см. далее раздел 21.

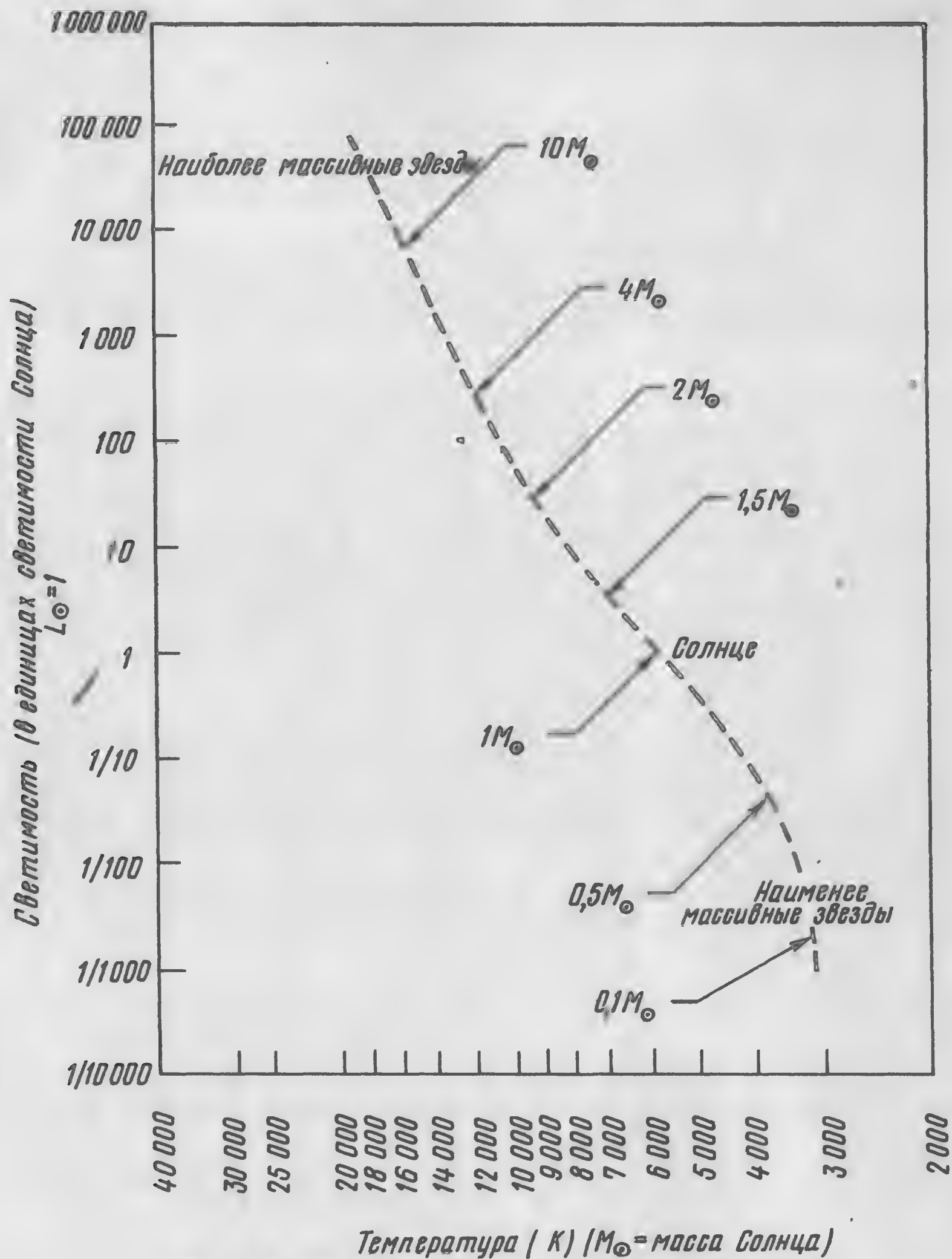


Рис. 3.18. Массы звезд главной последовательности.

ненных холодных красных карликов, радиус которых составляет лишь одну десятую радиуса Солнца.

Самыми большими звездами являются сверхгиганты, такие, как Бетельгейзе из созвездия Ориона (см. звездную карту), радиус которой почти в 400 раз больше солнечного. Внутри Бетельгейзе можно поместить более миллиона таких звезд, как Солнце! Наименьшие из распространенных звезд — это белые карлики, их размер приблизительно равен размеру Земли.

Плотность определяется как масса в единице объема. Средняя плотность Солнца составляет $1,4 \text{ г/см}^3$ — это чуть больше плотности воды. И красные гиганты, и белые карлики имеют массу, примерно равную солнечной. Что вы можете сказать об их плотности по сравнению с солнечной? Объясните.

Красные гиганты имеют очень низкую среднюю плотность по сравнению с Солнцем. Та же самая масса у них распределена в значительно большем объеме. (Плотность у них примерно такая же, как плотность вещества в межпланетном пространстве в районе Земли.)

Белые карлики чрезвычайно плотные. У них та же самая масса содержится в гораздо меньшем объеме. (Одна чайная ложка вещества белого карлика весила бы на Земле несколько тонн.)

★ 21. Многие звезды, которые невооруженному глазу кажутся одиночными, на самом деле не такие. Двойная звезда образуется двумя звездами, связанными взаимным притяжением. Вместе путешествуя в космосе, они обращаются вокруг общего центра масс.

Визуально-двойными мы называем такие звезды, которые доступны телескопическим наблюдениям и видны как две отдельные звезды.

Известно свыше 70 000 визуально-двойных звезд. Альфа Центавра, наш ближайший видимый невооруженным глазом сосед, — это настоящая двойная звезда. Близко от нее расположена слабая Проксима Центавра, третий член этой многозвездной системы.

Две интересные визуально-двойные звезды легко можно увидеть в небольшой телескоп. Первой двойной звездой, открытой в 1650 г., был Мицар в ковше Большой Медведицы. Красивая Альбирео в Лебеде — это две красочные звезды — желтая и голубая (см. звездные карты). Большое число других двойных звезд приводится в справочниках для наблюдателей (см. список литературы).

Компоненты многих двойных звезд светят слишком слабо, чтобы их можно было увидеть. Присутствие невидимого спутника определяется из вариаций в собственном движении видимой звезды. *Астрометрически-двойные* звезды — это видимая звезда плюс невидимый спутник. С 1844 г. «бриллиантовый» Сириус был астрометрически-двойной звездой, и это продолжалось до 1862 г., когда стало возможным наблюдение его слабого спутника (Сириуса В).

Спектрально-двойные звезды не могут быть разрешены в телескоп. Их двойная природа определяется при изучении спектров. По мере того как компоненты пары то приближаются к Земле, то удаляются, происходит доплеровское смещение спектральных

линий. Всего исследовано около восьмисот спектрально-двойных звезд. Оказалось, что Мицар и его яркий компонент Мицар А представляют собой спектрально-двойную звезду.

Затменно-двойные звезды располагаются таким образом, что одна из звезд проходит перед второй, ослабляя ее свет через правильные промежутки времени. Блеск затменно-двойных звезд регулярно меняется.

Невооруженным глазом вы можете увидеть знаменитую затменно-двойную звезду Алголь (Дьявол) в созвездии Персея. Алголь «подмигивает» с периодом примерно 2 дня 21 ч в интервале звездных величин от 2,2 (наибольший блеск) до 3,5 (наименьший блеск).

Оптически-двойные звезды — это случайно расположенная близкая пара звезд на небесной сфере. На самом деле одна из них находится намного дальше, чем другая, и физически они не связаны друг с другом.

Вы можете проверить свое зрение, найдя Мицар и Алькор (которые называют «испытательными» звездами), оптически-двойную звезду в ручке ковша Большой Медведицы

Чем отличается оптически-двойная звезда от визуально-двойной?

В оптически-двойных системах звезды расположены далеко друг от друга и физически не связаны. В визуально-двойных системах звезды связаны вместе силами притяжения.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал третьей главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Обратитесь к таблице 3.4. На основании измеренного параллакса найдите расстояние до звезды Барнарда в (а) парсеках; (b) световых годах.

2. Объясните, почему каждому химическому элементу присущ свой набор ярких (темных) спектральных линий, возникающих при излучении (поглощении) света атомом данного элемента.

3. Объясните, как образуется звездный спектр.

4. Напишите следующие типы спектральных линий в порядке их появления при уменьшении температуры звезд:

- (1) очень сильные линии водорода;
- (2) ионизированный гелий;
- (3) полосы молекул титана;
- (4) нейтральный гелий;
- (5) нейтральные металлы;
- (6) ионизированные металлы.

5. Подберите для перечисленных ниже звездных характеристик, которые могут быть получены из спектра, соответствующие методы их определения (справа).

- | | |
|--|--------------------------|
| (a) Химический состав. | 1. Доплеровское смещение |
| (b) Температура. | 2. Спектральный класс |
| (c) Лучевая скорость. | 3. Форма линий |
| (d) Плотность газа, осевое вращение, магнитное поле. | 4. Характеристики линий |

6. Собственное движение Сириуса составляет $1,32''$ в год. Найдите, на сколько изменится положение Сириуса на небесной сфере за следующую 1000 лет.

7. Дайте определение пространственной скорости звезды.

8. Обратитесь к таблице 1.1. Используя данные о видимых звездных величинах, абсолютных звездных величинах и спектральных классах, подберите для каждого описания одну из четырех звезд.

- | | |
|------------------------------|----------------|
| (a) Самая горячая | 1. Бетельгейзе |
| (b) Самая холодная | 2. Канопус |
| (c) С наибольшей светимостью | 3. Ригель |
| (d) С наименьшей светимостью | 4. Сириус |
| (e) Самая яркая | |
| (f) Самая слабая | |
| (g) Самая близкая | |
| (h) Самая далекая | |

9. Как найти на Г—Р-диаграмме (рис. 3.19):

1. Температуру поверхности звезды (в кельвинах).
2. Абсолютную светимость.
3. Спектральный класс.
4. Абсолютную звездную величину.

Укажите на Г—Р-диаграмме:

5. Главную последовательность.
6. Область красных гигантов.
7. Область белых карликов.
8. Область сверхгигантов.
9. Область голубых гигантов.
10. Область красных карликов.

10. Что является основной характеристикой звезды, определяющей ее положение на главной последовательности (температуру и светимость)?

11. Используя Г—Р-диаграмму, объясните, почему красные гиганты должны быть очень большими по сравнению с Солнцем, а белые карлики — очень маленькими.

12. Укажите:

- | | |
|--|----------------------------|
| (a) можно разрешить с помощью телескопа; | 1. Астрометрически-двойные |
|--|----------------------------|

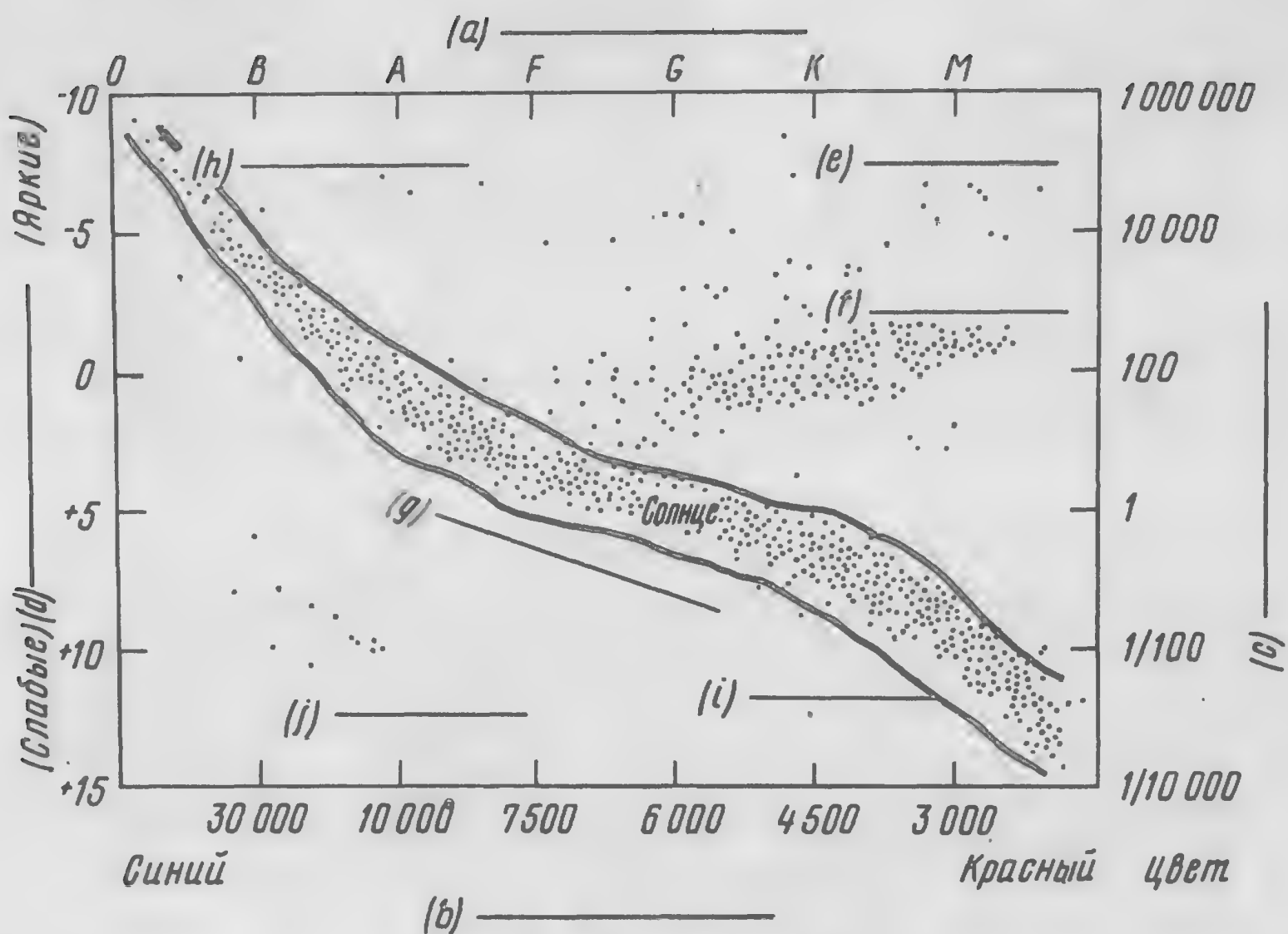


Рис. 3.19. К вопросу 9.

(b) наличие невидимого спутника определяется по собственному движению видимого компонента;

(c) двойная природа определяется по спектру;

(d) регулярно изменяется блеск, когда одна звезда заслоняет от нас другую;

(e) звезды физически не связаны друг с другом.

2. Затменно-двойные
3. Оптичеcки-двойные
4. Спектрально-двойные
5. Визуально-двойные

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. (a) 1,81 пк; (b) 5,9 св. лет (раздел 1).

Решение. Измеренный параллакс составляет $0,552''$;

$$\frac{1}{p''} = \frac{1}{0,552''} = 1,81 \text{ пк.}$$

2. Каждая спектральная линия — это свет определенной длины волны, излучаемый или поглощаемый атомами, когда один из

электронов переходит между более высокой и более низкой орбитами. Каждый элемент имеет свой собственный, индивидуальный набор разрешенных электронных орбит, так что существует характерный только для него набор спектральных линий (разделы 2, 3).

3. Звезды — это самосветящиеся газовые шары, где различные атомы излучают свет всех цветов. Этот свет, излучаемый поверхностными слоями звезды, проходит через звездную атмосферу. Там атомы каждого элемента поглощают в проходящем свете характерные для них длины волн так, что образуется набор темных линий, пересекающих непрерывную полосу цветов — звездный спектр (разделы 3, 4).

4. 2; 4; 1; 6; 5; 3 (раздел 7).

5. (a) 4; (b) 2; (c) 1; (d) 3 (разделы 3, 6, 7, 9, 10).

6. 1320", или приблизительно одна треть градуса.

Решение. Собственное движение Сириуса составляет 1,32" за год. Градус равен 3600". $(1,32'' \text{ за год}) \times 1000 \text{ лет}$ (раздел 9).

7. Скорость перемещения звезды в пространстве по отношению к Солнцу (раздел 9).

8. (a) 3; (b) 1; (c) 3; (d) 4; (e) 4; (f) 1; (g) 4; (h) 3.

Решение.

Звезда	Спектральный класс	Видимая звездная величина	Абсолютная звездная величина
Бетельгейзе	M	+0,8	—6
Канопус	F	—0,7	—4,7
Ригель	B	+0,1	—7,0
Сириус	A	—1,5	+1,4

(Разделы 6, 7, 12, 13, 14, 15, 16.)

9. (a) 3; (b) 1; (c) 2; (d) 4; (e) 8; (f) 6; (g) 5; (h) 9; (i) 10; (j) 7 (раздел 18).

10. Масса (раздел 19).

11. Красные гиганты являются относительно холодными звездами, но с громадной светимостью, следовательно, они должны иметь большую площадь излучающей поверхности. Белые карлики относительно горячие, но слабосветящиеся звезды, следовательно, они должны иметь небольшую площадь излучающей поверхности (разделы 18, 19, 20).

12. (a) 5; (b) 1; (c) 4; (d) 2; (e) 3 (раздел 21).

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

1. Ни одна из звезд не светит вечно. *Звездная эволюция* описывает изменения, происходящие в звездах по мере их старения,— циклы жизни звезд. Эти изменения невозможно наблюдать непосредственно, так как они зачастую происходят на протяжении миллиардов лет. Астрономы создают теорию звездной эволюции, которая согласуется с законами физики. После этого они проверяют теорию, наблюдая на небе реальные звезды.

При сравнении теории с наблюдениями астрономы пользуются $H-R$ -диаграммой. Они делают теоретическое предсказание относительно последовательности изменений светимости и температуры звезд по мере их продвижения от рождения к смерти. Эти изменения наносят на $H-R$ -диаграмму и строят теоретические *эволюционные треки*. Затем теоретические $H-R$ -диаграммы сравнивают с $H-R$ -диаграммами для групп реальных звезд (см. также раздел 5.9).

Предсказания современной теории звездной эволюции, описанные в этой главе, хорошо согласуются с данными, полученными из наблюдений реальных звезд.

Что такое звездная эволюция?

Изменения, которые происходят со звездами по мере их старения,— циклы жизни звезд.

★ 2. Звезды образуются из материи, которая существует в космосе. Межзвездные (находящиеся между звездами) облака газа и пыли служат областями, где рождаются звезды.

Вы сами можете увидеть в космосе облако, где прямо сейчас происходит образование молодых звезд. Знаменитая *Туманность Ориона* (облако), расположенная на расстоянии приблизительно 1500 св. лет от Солнца в созвездии Ориона,— это район интенсивного звездообразования (рис. 4.1).

Найдите зимой Туманность Ориона. На звездных картах она обозначена на мече Ориона.

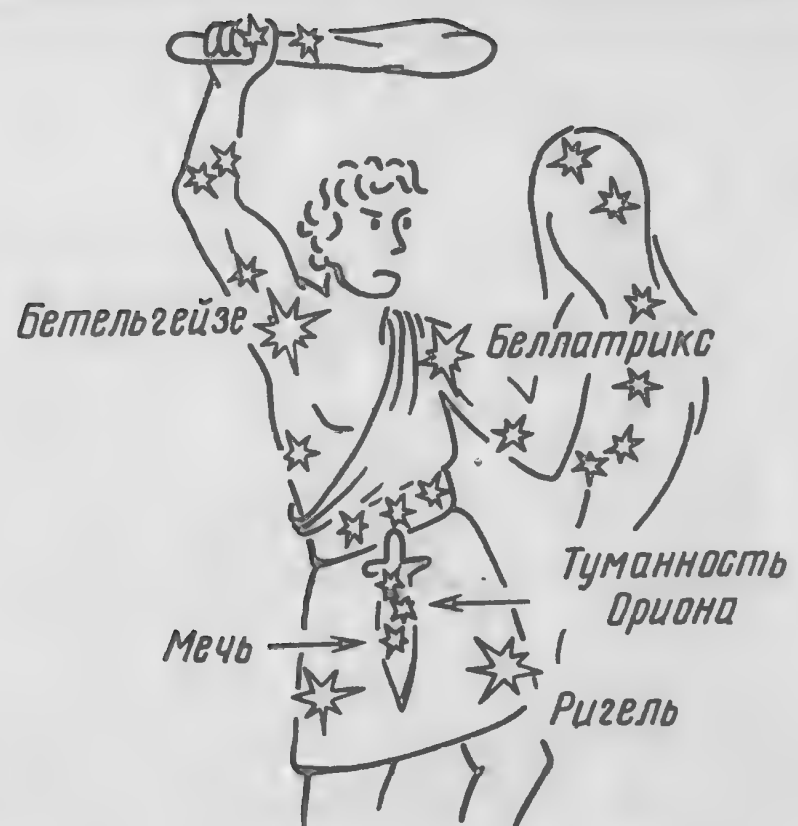


Рис. 4.1. Туманность Ориона в созвездии Ориона.

Невооруженному глазу Туманность Ориона представляется туманным пятнышком. В телескоп вы заметите, что она имеет зеленоватый оттенок. Астрономы считают, что свечение газов обусловлено вновь образовавшимися звездами.

Рождаются ли сегодня новые звезды? Где?

Да. В газопылевых облаках, таких, как Туманность Ориона.

3. Протозвезда — это огромное вращающееся, сжимающееся газообразное облако. Протозвезду можно считать рождающейся звездой. Протозвезды образуются внутри существующих в космосе облаков газа (в основном водорода) и пыли.

Протозвезда собирается воедино силами гравитации. Эти силы стягивают вещество в центр звезды, вызывая ее сжатие. Гравитационное сжатие приводит к быстрому повышению внутреннего давления и температуры.

Тепло передается из горячих недр к более холодной поверхности. Протозвезда излучает эту энергию в космос. Она светит темно-красным светом.

Когда температура в центре превышает 10 млн. К, начинаются реакции *ядерного синтеза*. В результате этих реакций высвобождается огромное количество энергии. Энергия, освобождаемая в центре звезды, с такой же скоростью излучается в окружающее пространство. Таким образом, в центре звезды поддерживаются очень высокие температура и давление.

Когда направленная наружу сила давления горячих газов приходит в равновесие с силами гравитации, стягивающими вещество в центр, протозвезда перестает сжиматься и начинает равномерно излучать свой собственный свет в космос. Протозвезда становится звездой. Подобным образом 5 млрд. лет назад родилось наше Солнце.

Укажите три основных этапа рождения звезды.

1. Гравитационное сжатие газопылевого облака
2. Увеличение внутренней температуры и давления.
3. Ядерный синтез.

4. Облака, в которых образуются звезды, имеют неодинаковые массы и разное соотношение химических элементов. Цикл жизни звезды — время, которое необходимо звезде, чтобы пройти все стадии эволюции, — зависит от ее *массы* и первоначального *химического состава*.

Звезды, начинающие жизнь с приблизительно одинаковой массой и химическим составом, проходят одни и те же стадии эволюции примерно за одно и то же время.

Звезды того же химического состава, но с намного большей массой, эволюционируют быстрее всех, в то время как такие же звезды с малой массой — дольше всех.

Представленные на рисунке 4.2 теоретические эволюционные треки на Г—Р-диаграмме показывают, как изменяются светимость и температура протозвезды по мере ее сжатия до превращения в звезду.

Сколько примерно нужно времени каждой из следующих протозвезд для того, чтобы достичь нулевого возраста (чтобы родиться) и оказаться на главной последовательности? (а) Звезда типа нашего Солнца (б) Звезда с массой, намного превышаю-

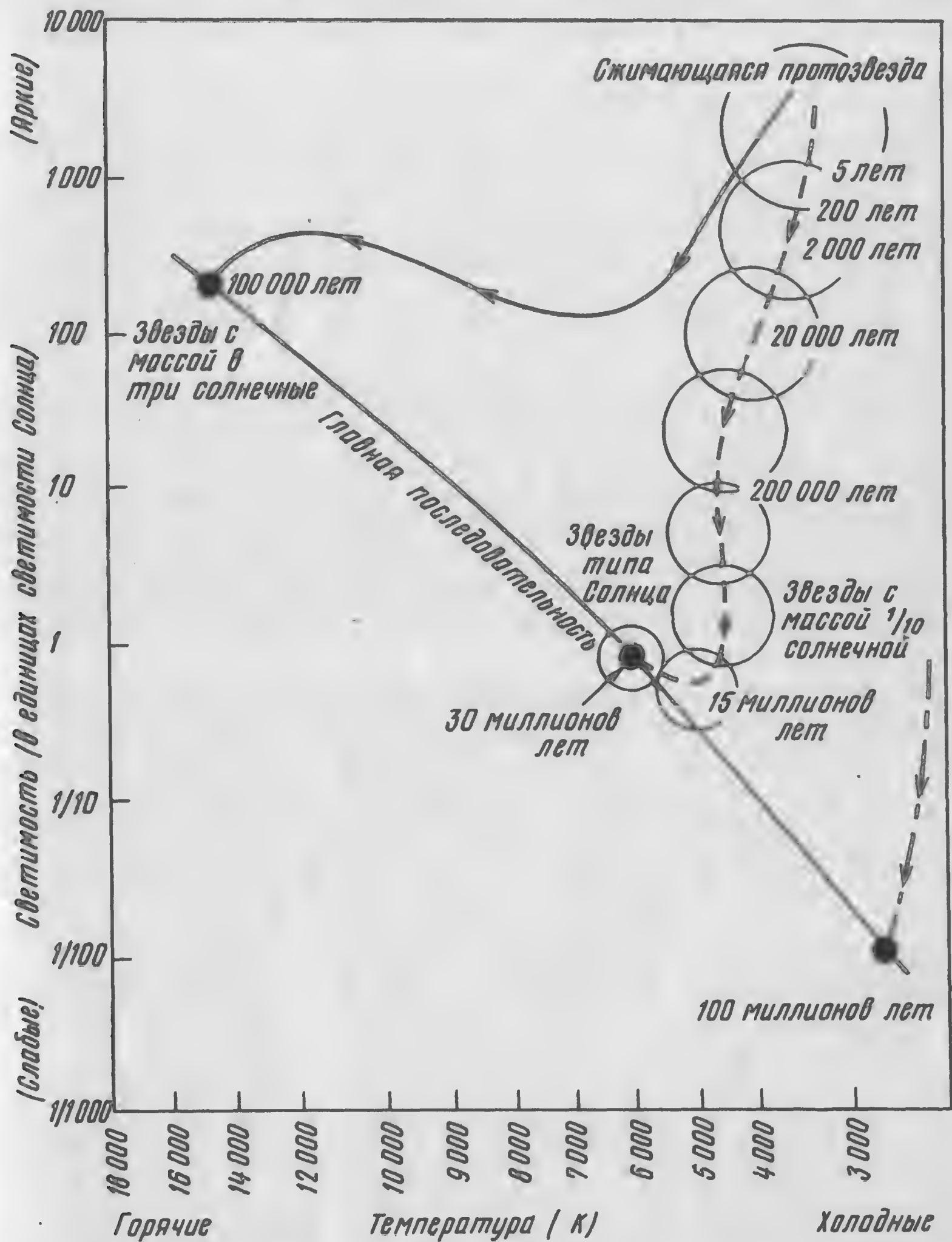


Рис. 4.2. Изменение температуры и светимости сжимающейся протозвезды.

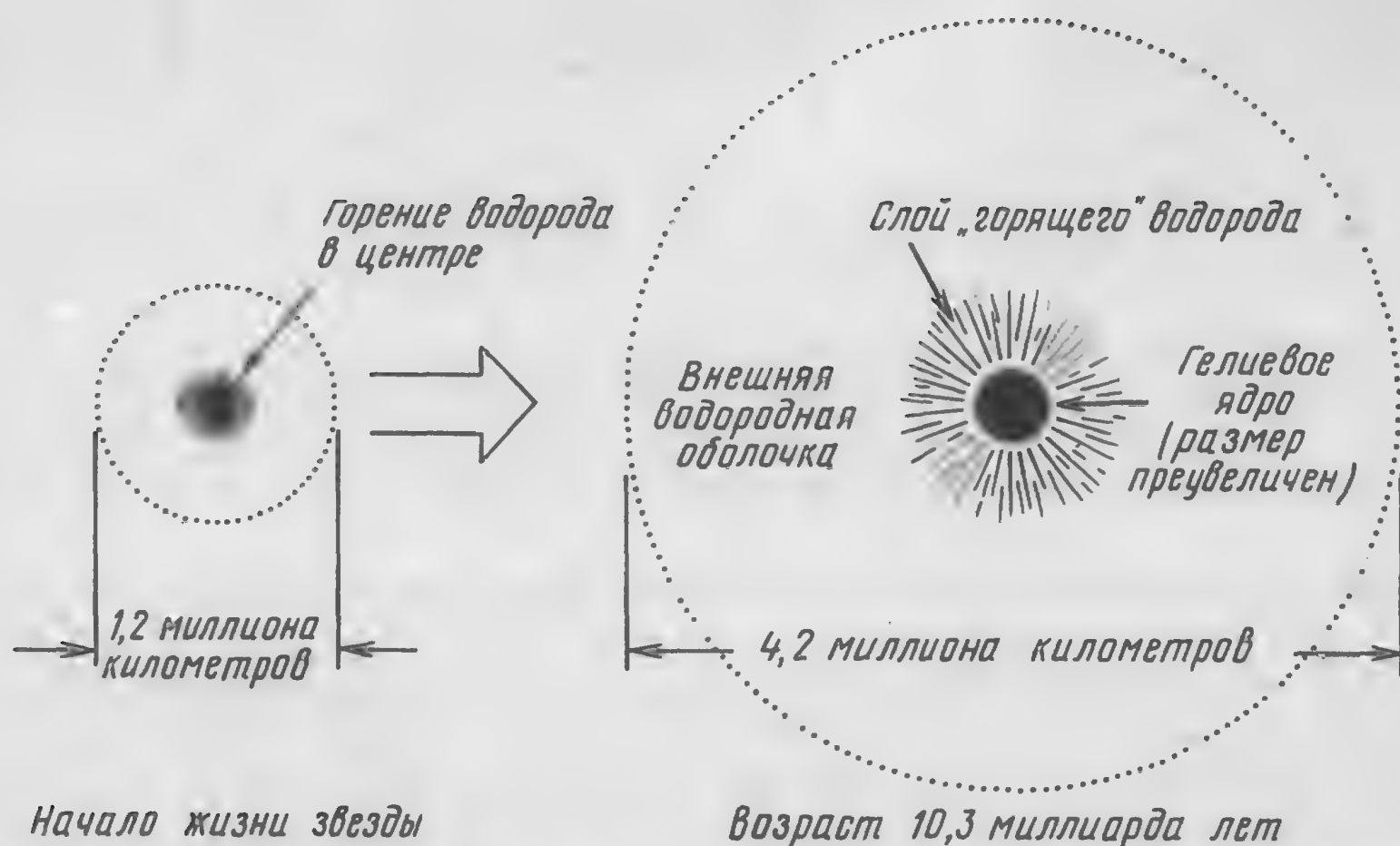


Рис. 4.4. Звезда типа Солнца в начале своей жизни на главной последовательности и «на склоне лет».

Предполагается, что и наше Солнце, умирая, как и все звезды, пройдет стадию красного гиганта. Этот красный гигант будет светить настолько ярко, что на Земле расплавятся горные породы, испарятся океаны и жизнь в той форме, какой мы ее сейчас знаем, прекратится.

Когда звезда главной последовательности начинает превращаться в красного гиганта?

Когда все имеющееся в ядре водородное топливо превратится в гелий.

8. Гравитационное сжатие вызывает повышение температуры внутри гелиевого ядра красного гиганта до 100 млн. К. При этих температурах начинают протекать реакции ядерного синтеза, в результате которых гелий превращается в углерод.

Внутри массивных красных гигантов при последующих реакциях синтеза могут образоваться кислород, натрий, магний и другие хорошо известные элементы тяжелее гелия. При еще более высоких температурах образуются металлы, такие, как железо.

Когда начинается горение гелия, ядро сильно не расширяется. Температура быстро повышается без остужающего, стабилизирующего расширения. Ядра гелия горят все быстрее и быстрее, и ядро звезды становится еще более горячим. Это неудержимое горение гелия при ненормальных условиях называется *гелиевой вспышкой*.

Через некоторое время температура поднимается достаточно высоко, чтобы ядро начало опять расширяться. Происходит ох-

лаждение, и горение гелия протекает теперь с постоянной скоростью.

Где, по мнению астрономов, образуются такие важные для жизни элементы, как углерод и кислород?

В недрах красных гигантов.



9. По-видимому, в результате еще не до конца понятых процессов звезда несколько раз переходит из области красных гигантов на главную последовательность и обратно, пока не достигнет заключительной стадии своей жизни. Вероятно, большинство звезд, перед тем как окончательно погибнуть, превращаются из красных гигантов в *пульсирующие переменные звезды*. Они периодически расширяются и сжимаются, становясь соответственно то ярче, то слабее.

Красным сверхгигантам, самой большой группе пульсирующих звезд, нужно от 100 дней до 2 лет для изменения блеска от самого яркого до самого слабого. Самый известный красный сверхгигант — это звезда Мира (Удивительная) в созвездии Ки-

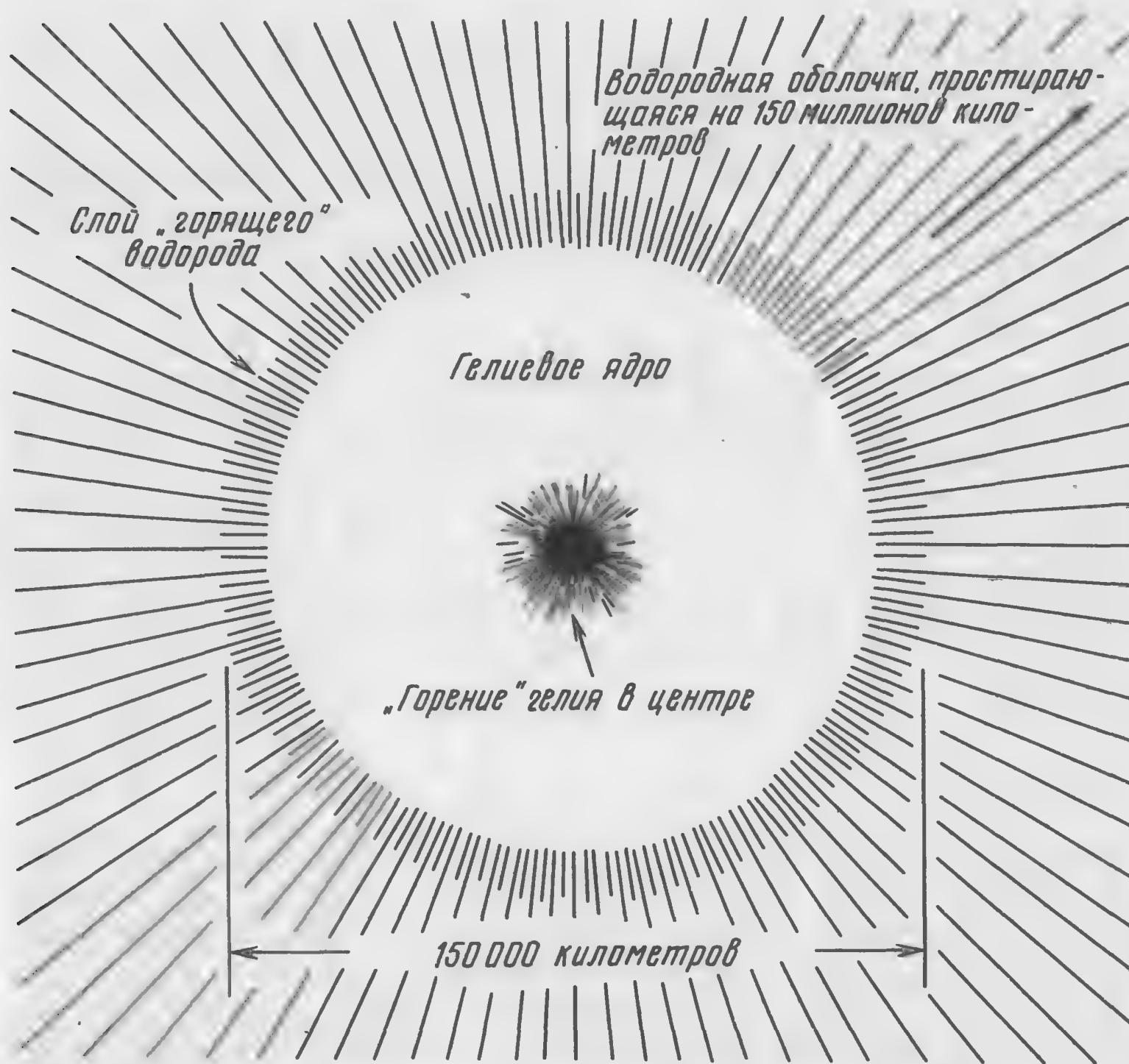


Рис. 4.5. Внутреннее строение красного гиганта.



Рис. 4.6. Кривая изменения блеска звезды Дельта Цефея.

та. Наблюдатели прошлого называли эту звезду «удивительной», заметив, что она периодически изменяет свой блеск от максимума, в течение которого звезда представляется ярко-красной, до минимума, когда она становится невидимой.

Цефеиды — это большие желтые звезды, которые меняют свой блеск за период от 1 до 50 дней. Это редкие, но важные звезды, потому что

они дают возможность измерять расстояния, которые слишком велики для определения их методом параллакса.

Рисунок 4.6 показывает, как изменяется блеск Дельты Цефея, первой открытой цефеиды, по которой и были названы все остальные подобные звезды. Вы можете пронаблюдать ее сами (см. звездные карты).

Период изменения блеска цефеид пропорционален светимости, это называется законом период — светимость. Астрономы используют его для определения абсолютной светимости цефеид по результатам измерения периодов.

Используя абсолютные и видимые звездные величины цефеид, они находят *расстояние* до цефеид и до групп звезд, к которым они принадлежат. Цефеиды — это надежное «мерило» расстояний до 10 млн. св. лет (3 млн. пк) (см. раздел 3.16).

Полярная звезда — это самая близкая к нам цефеида. Ее блеск изменяется от 2,5 до 2,6 звездных величин каждые 4 дня.

Звезды типа RR Лиры — это второй по распространенности класс переменных звезд. В нашей Галактике сейчас известно около 4 500 звезд типа RR Лиры. Блеск их изменяется за период меньше одного дня. Звезды типа RR Лиры используются для определения расстояний до групп звезд, к которым они принадлежат, до расстояний примерно в 600 000 св. лет (200 000 пк).

Какие две характеристики пульсирующих звезд периодически меняются?

1. Размер; 2. Светимость.

10. Все звезды эволюционируют примерно одинаково, хотя им нужно разное время для того, чтобы вещество их ядра превратилось в основном в углерод. Последняя же стадия эволюции до окончательного умирания очень зависит от их *массы*.

Маленькие звезды, масса которых не превышает 1,4 солнечной, окончательно умирают без каких-либо катаклизмов, спокойно угасая и теряясь во тьме космоса. Очень массивные звезды

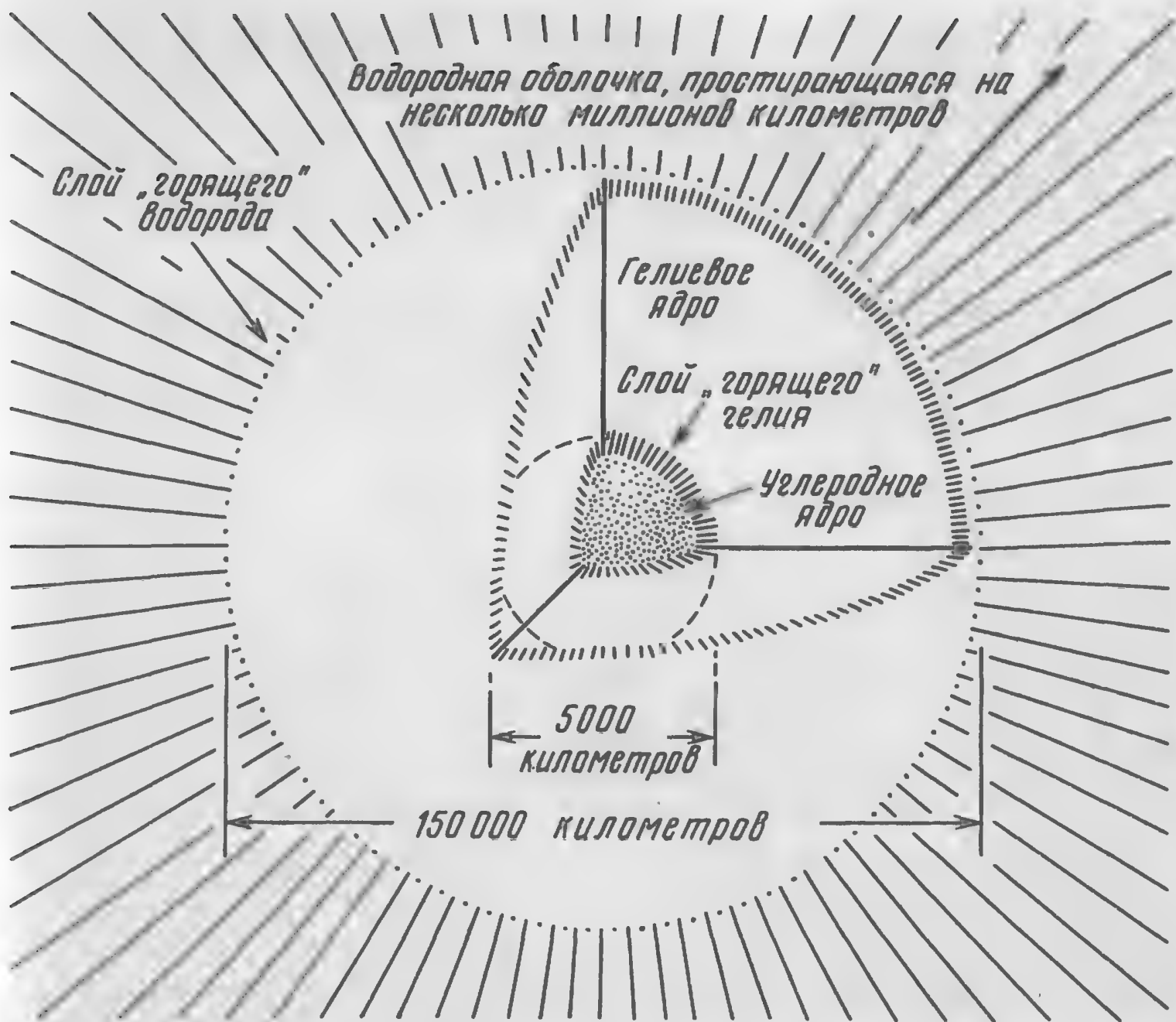


Рис. 4.7. Строение углеродного ядра звезды на завершающей стадии ее эволюции.

кончают свою жизнь мощным взрывом — взрывом *сверхновой*, ярко вспыхивая перед тем, как расстаться с жизнью.

Какой параметр звезды определяет характер ее кончины?

Ее масса.

11. Когда звезда с массой, как у нашего Солнца, исчерпывает запасы гелиевого топлива, она в последний раз становится разбухшим красным гигантом (на этой стадии жизни наше Солнце станет таким большим, что поглотит Меркурий, Венеру, Землю и Марс).

Затем звезда сбрасывает часть своей массы. Наиболее удаленная от центра водородная оболочка звезды улетает в космос. Это прозрачная, как дымка, расширяющаяся газовая оболочка, называемая *планетарной туманностью*, как правило, имеет поперечник от 0,5 до 1 св. года. Покидая ядро звезды, она продолжает расширяться со скоростью примерно 20—30 км/с.

Всего найдено на небе около тысячи планетарных туманностей. Возраст их, по-видимому, меньше 50 000 лет, так как атомы газов в планетарных туманностях быстро разлетаются и через

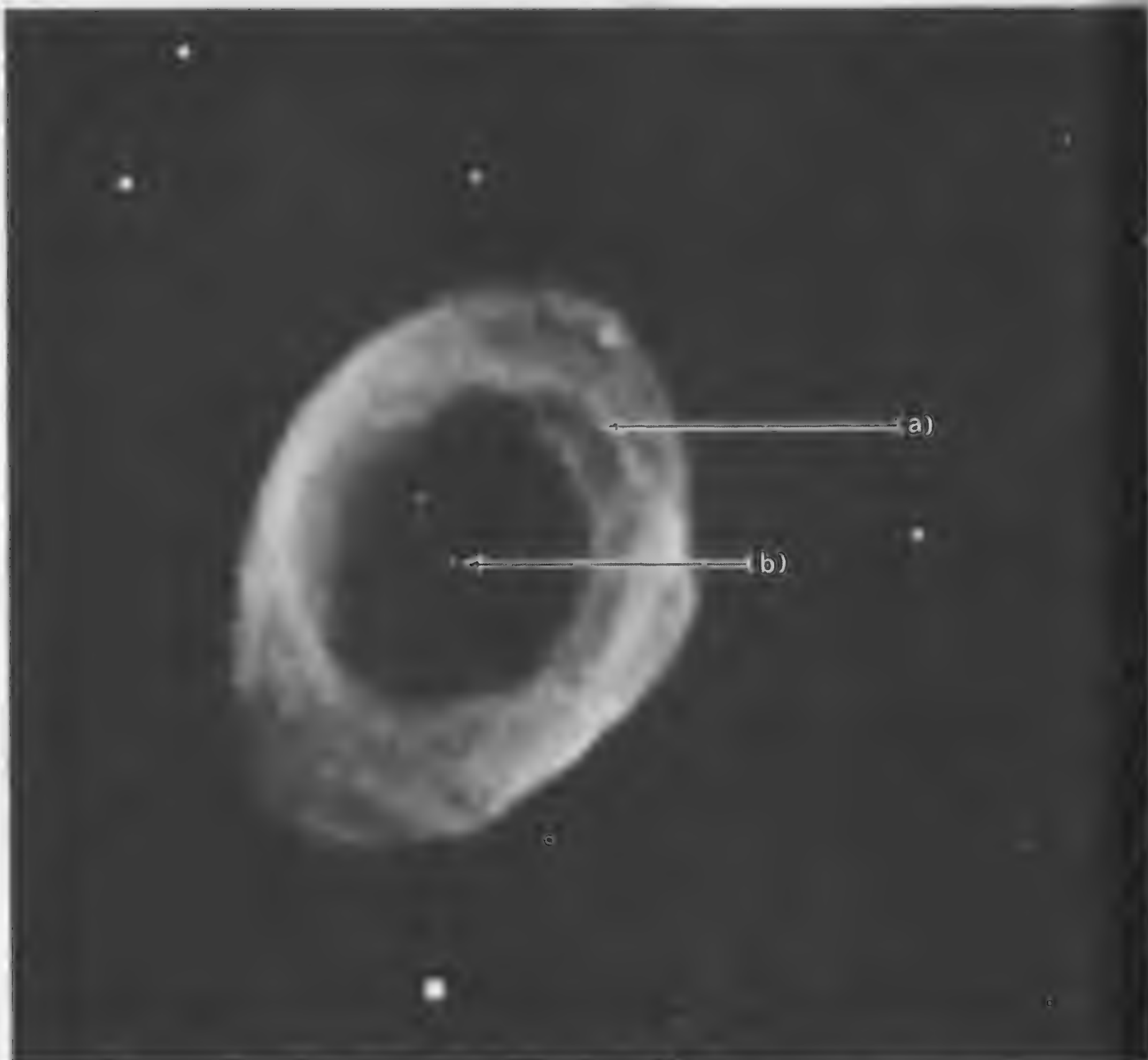


Рис. 4.8. Планетарная туманность и «оголенное» ядро звезды.

100 000 лет оболочка становится слишком разреженной, чтобы ее можно было заметить.

Найдите на фотографии ядро звезды и планетарную туманность (рис. 4.8).

(а) Планетарная туманность; (b) Ядро звезды. На фотографии представлена туманность «Кольцо» в созвездии Лиры.

12. После того как сброшена газовая оболочка, у звезды остается углеродное ядро, окруженное слоем «горящего» гелия.

Звезда, которая исчерпала все свое ядерное топливо, не может больше противостоять силам гравитации. Она опять сжимается, и силы гравитации стягивают вещество в центр. Гравитационное сжатие вызывает очень сильное повышение температуры

и давления, в результате чего от атомов отрываются электроны. Звезда превращается в горячий *белый карлик*. Вещество его состоит в основном из электронов и ядер. Эти субатомные частицы могут располагаться ближе друг к другу, чем они находятся в обычном состоянии в атомах.

Наконец, когда размер белого карлика достигает размеров Земли, он не может больше сжиматься. Белые карлики с массами, как масса нашего Солнца, очень плотны из-за того, что силы гравитации сжали все их вещество до земных размеров. Сила тяжести на подобных белых карликах в 350 000 раз больше, чем на Земле. Если бы вы могли оказаться на белом карлике, то вы бы весили в 350 000 раз больше, чем сейчас.

Иногда на этой стадии эволюции бриллиантовым светом вспыхивает *новая звезда*. Это происходит в том случае, когда белый карлик принадлежит к двойной системе. Вещество со второй звезды может падать на белый карлик и вызывать короткий, но яркий пожар.

Постепенно белый карлик остывает и превращается в тускло-красную звезду, излучающую в космос последние запасы энергии. Затем и это излучение прекращается и белый карлик становится мертвым *черным карликом*.

Что такое белый карлик?

Маленькая плотная (умирающая) звезда низкой светимости с высокой поверхностной температурой, типичный размер ее равен размеру Земли, а масса равна солнечной.

13. Найдите каждую стадию жизни звезды, подобной Солнцу, на рисунке 4.9.

(a) Гравитационное сжатие газопылевого облака и превращение его в звезду.

(b) Стабильное положение звезды на главной последовательности, она светит за счет реакций ядерного синтеза (превращения водорода в гелий).

(c) Выделение гелиевого ядра и превращение звезды в красного гиганта.

(d) Красный гигант, светящийся за счет «горения» гелия.

(e) Переменная звезда, образование углеродного ядра.

(f) Планетарная туманность, водородная оболочка сбрасывается в космос.

(g) Белый карлик, звезда сжимается до размеров Земли.

(h) Мертвый черный карлик в космосе.

14. Очень массивные звезды, массы которых примерно в четыре раза больше солнечной, умирают гораздо эффектней, чем звезды типа Солнца. *Сверхновая* — это гигантский звездный взрыв.

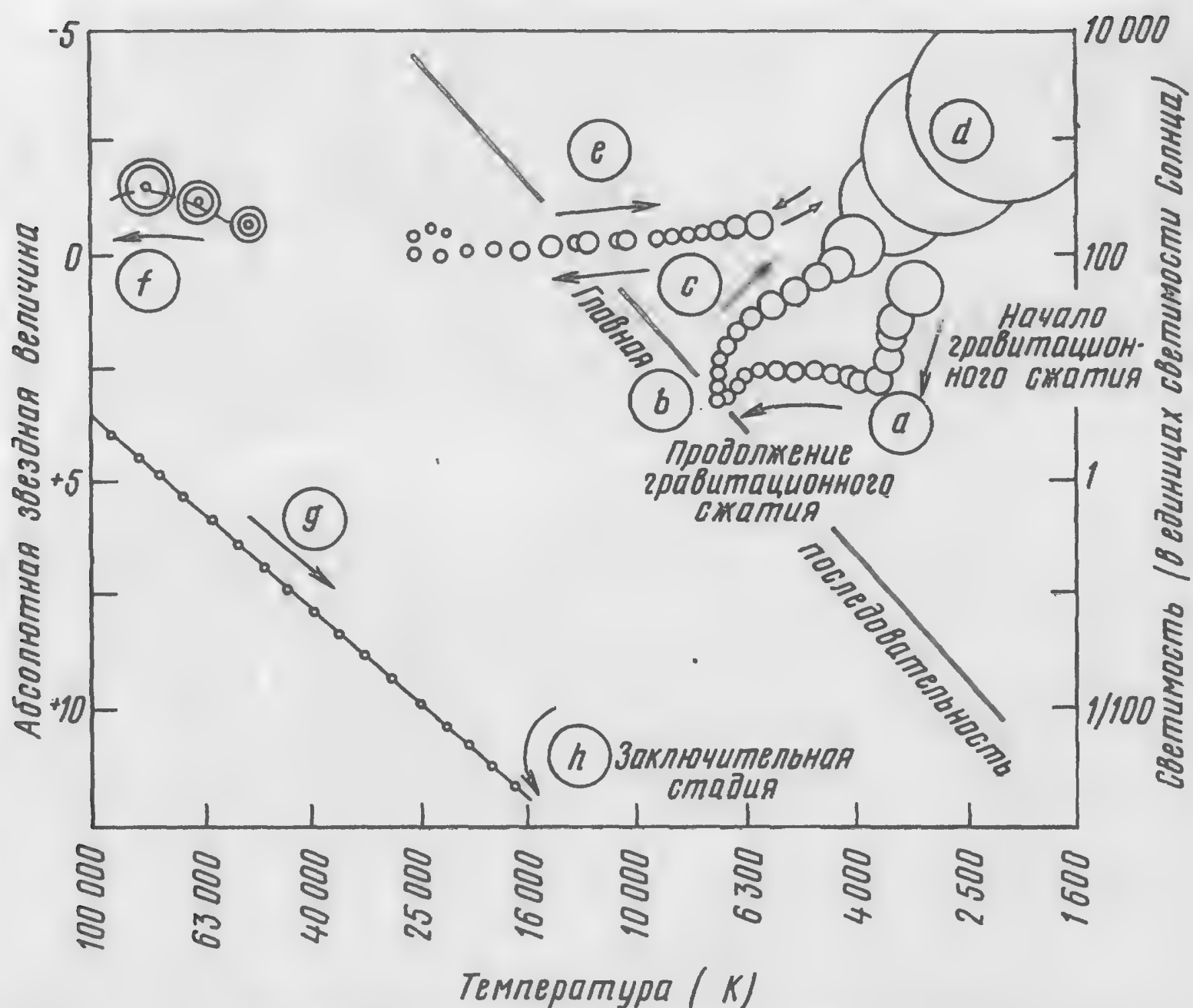


Рис. 4.9. Жизненный путь звезды типа Солнца.

Массивное углеродное ядро звезды сжимается за счет сил гравитации таким же образом, как и у небольших звезд. Но в более массивных звездах температура ядра все время продолжает повышаться и доходит до 600 млрд. К. В этот момент начинает «гореть» углеродное ядро. Когда в реакциях ядерного синтеза углерод начинает превращаться в магний, сжатие (коллапс) прекращается.

После исчерпания углерода начинается новый цикл — гравитационное сжатие, повышение температуры, начало новых ядерных реакций, образование новых элементов и прекращение коллапса.

Железо завершает эти циклы ядерных пожаров и коллапсов, потому что оно не высвобождает энергию при протекании ядерных реакций. Обреченная звезда коллапсирует последний раз до тех пор, пока не достигнет предела сжимаемости. Затем она катастрофически взрывается. Количество света, излучаемое сверхновой звездой, может в миллиард раз превосходить светимость Солнца.

В 1054 г. китайцы и американские индейцы засвидетельствовали появление на небе сверкающей звезды, которая была видна даже днем. Это была сверхновая звезда в созвездии Тельца, на месте которой в настоящее время существует газовое облако —

Крабовидная туманность (см. рис. 4.10). Сейчас поперечник этой туманности достигает 10 св. лет (3 пк), а в центре ее находится остаток ядра взорвавшейся звезды. Крабовидная туманность расширяется со скоростью примерно 1500 км/с.

Звезды каких типов умирают как сверхновые?

Очень массивные звезды (масса которых примерно в 4 раза больше солнечной).

15. Можно сказать, что мы сотворены из звездной пыли. Водород и гелий были, по-видимому, единственными элементами во Вселенной, когда она зарождалась. Такие необходимые для жизни элементы, как углерод, кислород и азот, образуются внутри пылающих ядер стареющих звезд. Свинец, золото, самые тяжелые из всех элементов, образуются при чрезвычайно высоких температурах под действием интенсивных пучков нейтронов, возникающих во время взрыва сверхновых.

Взрыв сверхновой выбрасывает все эти элементы в космос. Они смешиваются с имеющимся там водородом, гелием и пылевыми частицами. Все вещество, выброшенное в космос в результате взрывов массивных звезд, вновь становится пригодным для

Рис. 4.10. Крабовидная туманность.



образования новых звезд и планет. Наше Солнце и Земля образовались около 5 млрд. лет назад из обогащенного таким образом облака водорода и гелия.

Как вы думаете, какие элементы больше распространены во Вселенной, они легче железа или тяжелее? Почему?

Легче железа. Более легкие элементы имеют намного больше времени для образования. Элементы, которые легче железа, образуются из первичного водорода в течение длительного периода времени внутри ядер массивных звезд, а более тяжелые — только в течение коротких интервалов времени, когда звезда взрывается (сверхновая) в конце своей жизни.

16. *Пульсары*, или пульсирующие радиоисточники, впервые наблюдались в 1967 г. Пульсары посылают на Землю остронаправленные сильные радиовсплески с интервалом от $1/30$ до 3 с. Открыто более сотни подобных удивительных объектов.

Согласно теории, после взрыва очень массивной звезды остаток, имеющий массу больше солнечной, настолько сильно сжимается в сверхплотный шар, что его поперечник становится равным всего лишь 10 км. Эта сверхплотная звезда, ядро которой состоит в основном из ядерных частиц (называемых нейтронами), была предсказана теоретически около 40 лет назад и получила название *нейтронной звезды*.

Согласно теории, в центре Крабовидной туманности должна существовать нейтронная звезда. В 1968 г. там был обнаружен пульсар; за это время он наблюдался в радио-, оптическом, рентгеновском, гамма- и инфракрасном диапазонах.

Пульсар — вращающаяся магнитная нейтронная звезда.

Какова, по-вашему, сила тяжести на поверхности пульсара, или нейтронной звезды, по сравнению с силой тяжести на Земле?

На пульсаре неизмеримо больше, чем на Земле. Сила тяжести тем больше, чем сильнее сжата материя. В пульсаре массой, примерно равной солнечной, вещество сжато в шар диаметром всего лишь 10 км.



Рис. 4.11. Пульсар (нейтронная звезда).

17. Очень массивная звезда может продолжать сжиматься (коллапсировать) и после стадии пульсара до превращения в таинственный объект, называемый *черной дырой*.

Если предсказанные теорией черные дыры действительно существуют, то они настолько плотны, что масса, равная солнечной, сжимается в шар

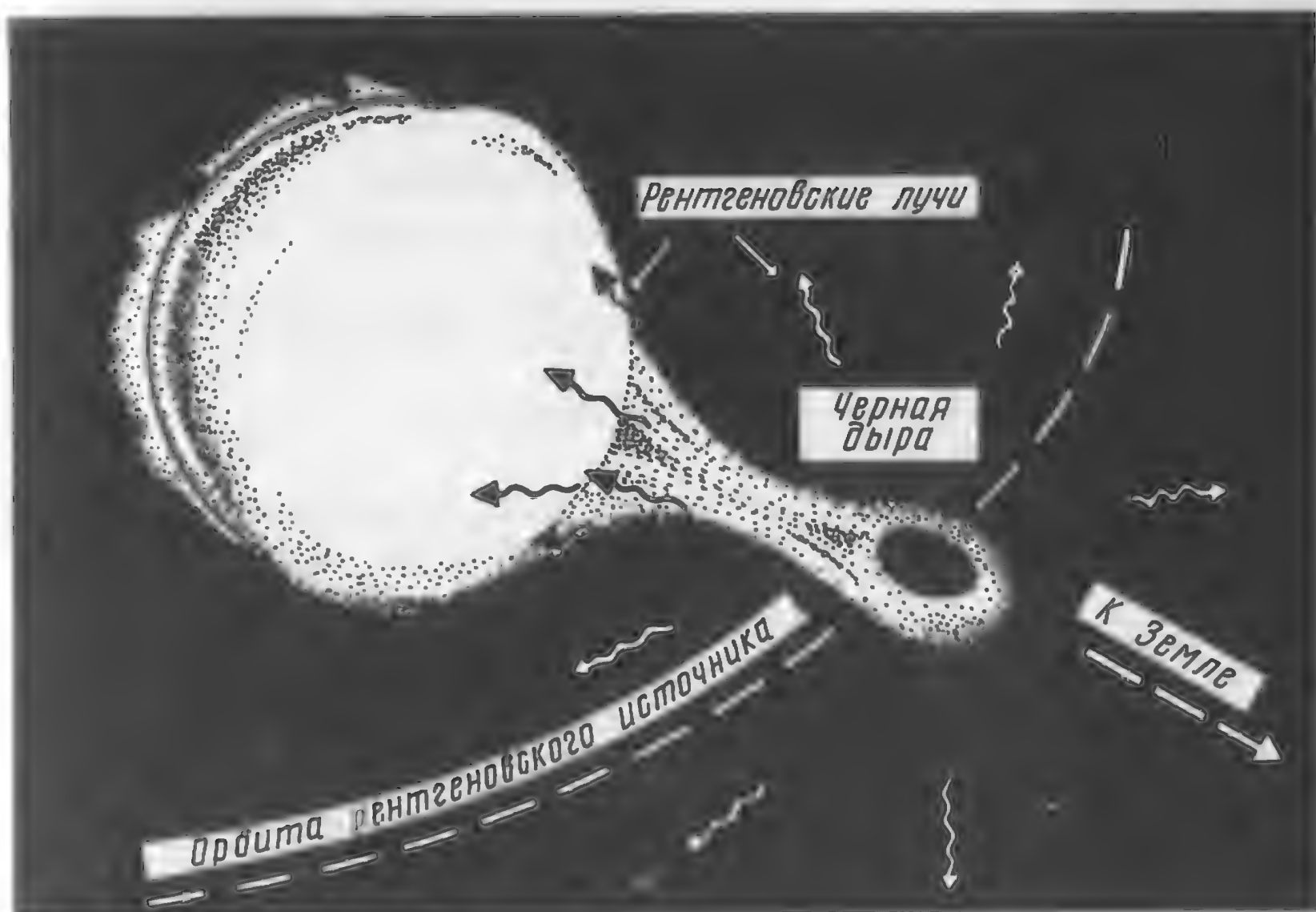


Рис. 4.12. Модель черной дыры.

поперечником меньше 2,5 км. Сила тяготения такой звезды настолько велика, что, согласно теории относительности Эйнштейна, она засасывает все, что к ней приближается, даже свет. Черную дыру невозможно увидеть, потому что ни свет, ни вещество, никакой другой сигнал не может преодолеть ее тяготение.

Рентгеновский источник Лебедь X-1, расположенный на расстоянии 8000 св. лет (2500 пк) в созвездии Лебеда,— возможный кандидат в черную дыру. Лебедь X-1 — это невидимая затменно-двойная звезда (период 5—6 дней). Ее наблюдаемый компонент — голубой сверхгигант, у которого из ночи в ночь наблюдаются изменения в спектре. Рентгеновские лучи, регистрируемые астрономами, возможно, испускаются тогда, когда Лебедь X-1 своим гравитационным полем засасывает вещество с поверхности рядом расположенной звезды на вращающийся диск, образующийся вокруг черной дыры.

В будущем вы, безусловно, услышите еще о загадочных черных дырах. Это самые волнующие объекты, изучаемые сейчас учеными.

Как вы думаете, что произойдет с космическим кораблем, который неудачно приблизится в космосе к черной дыре?

Сильное гравитационное притяжение черной дыры затянет космический корабль внутрь, создавая разрушительную силу,

которая будет усиливаться по мере падения корабля и в конце концов разорвет его на части.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал четвертой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Дайте определение звездной эволюции.
2. Как астрономы проверяют теорию звездной эволюции?
3. Перечислите три основных этапа возникновения звезды.
4. Каков основной источник энергии звезд главной последовательности?
5. Какая характеристика звезды определяет продолжительность времени ее эволюции в случае сходного химического состава?
6. Почему Солнце перестанет светить как звезда главной последовательности через 5 млрд. лет?
7. Напишите шесть основных этапов жизненного цикла звезды типа нашего Солнца, начиная от рождения и до смерти.
8. Подберите описание к основным стадиям эволюции очень массивных звезд.

(a) Образование элементов до железа.

(b) Гравитационное сжатие туманности.

(c) «Горение» гелия.

(d) Вероятно, нейтронная звезда.

(e) На конечной стадии — невидимый сверхплотный объект диаметром 3 км.

(f) Устойчивое свечение за счет превращения водорода в гелий.

(g) Сильнейший взрыв.

1. Черная дыра

2. «Горение» углерода

3. Главная последовательность

4. Протозвезда

5. Пульсар

6. Красный гигант

7. Сверхновая

9. Почему элементы легче железа, такие, как водород, гелий, углерод и кислород, распространены во Вселенной намного шире, чем более тяжелые элементы?

10. Подберите восемь понятий звездной эволюции к наблюдаемым на небе объектам.

(a) Место рождения звезд.

(b) Кандидат в черную дыру.

(c) Голубой гигант.

(d) Звезда главной последовательности.

(e) Нейтронная звезда.

(f) Пульсирующая переменная.

1. Бетельгейзе (в созвездии Ориона)

2. Крабовидная туманность

3. Пульсар в Крабовидной туманности

4. Лебедь X-1

- (g) Красный гигант.
(h) Остаток сверхновой.

5. Мира (в созвездии Кита)
6. Туманность Ориона
7. Ригель (в созвездии Ориона)
8. Солнце

11. Что такое черная дыра?

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Изменения, которые происходят в звездах по мере их старения,— жизненный цикл звезд (раздел 1).

2. Они предсказывают, какие изменения в светимости и температуре должны происходить в звездах по мере их старения. После этого сравнивают построенные теоретически эволюционные треки на Г—Р-диаграммах для групп реальных звезд (раздел 1).

3. 1) Гравитационное сжатие газопылевого облака; 2) увеличение внутренней температуры и давления; 3) ядерные реакции (раздел 3).

4. Реакции ядерного синтеза в центре звезды (водород превращается в гелий) (разделы 3, 5).

5. Масса (раздел 4).

6. Солнце покинет главную последовательность, когда весь имеющийся в его ядре водород «выгорит» и внутренних источников энергии больше не станет (раздел 7).

7. (1) протозвезда; (2) звезда главной последовательности; (3) красный гигант; (4) переменная звезда; (5) белый карлик; (6) мертвый черный карлик (разделы 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13).

8. (a) 2; (b) 4; (c) 6; (d) 5; (e) 1; (f) 3; (g) 7 (разделы 3, 5, 6, 7, 14, 16, 17).

9. Первоначальными элементами во Вселенной, по-видимому, были водород и некоторое количество гелия. Другие элементы легче железа образуются внутри стареющих звезд через некоторый промежуток времени. Элементы тяжелее железа образуются только в течение коротких временных интервалов во время взрывов сверхновых (раздел 15).

10. (a) 6; (b) 4; (c) 7; (d) 8; (e) 3; (f) 5; (g) 1; (h) 2 (разделы 2, 6, 7, 9, 14, 16, 17).

11. Звезда сверхплотной массы, возникшая в результате гравитационного коллапса; ее не может покинуть ни свет, ни вещество, ни сигнал любого типа (раздел 17).

ГАЛАКТИКИ

Порой в великой книге тайн природы
Мне удастся кое-что прочесть.

Шекспир.
«Антоний и Клеопатра»,
акт 1, сцена 2



1. Галактика — это совокупность миллионов или миллиардов звезд совместно с газом и пылью, удерживаемых в ограниченном пространстве силами гравитации.

Наше Солнце и все видимые на небе звезды принадлежат к Галактике, часто называемой *Млечным Путем*. Иногда в очень ясные ночи вы видите на небе туманную полосу света. Древние называли ее Млечным Путем, потому что она выглядит, как молоко, пролитое на небе богиней, которая кормила своего ребенка. Эта млечная полоса является частью нашей Галактики.

Попытайтесь найти летом или зимой Млечный Путь. Если возможно, используйте бинокляр или телескоп; тогда вы убедитесь, что на самом деле он состоит из многих отдельных звезд.

В целом наша Галактика состоит из более 100 млрд. звезд. Эти звезды располагаются в пространстве очень далеко друг от друга. В среднем расстояние от какой-либо звезды до ближайшей соседней составляет около 5 св. лет (50 триллионов км).

Что такое галактика?

Огромное скопление звезд, газа и пыли, удерживаемое в пространстве силами гравитации.

2. Поскольку мы привязаны к нашему Солнцу, которое движется внутри огромной Галактики, мы не можем сфотографировать ее извне. (Попытаться сделать это — все равно что пытаться сфотографировать город с его далекой окраины.) За неимением лучшего мы используем фотографии других галактик, которые помогают нам представить вид собственной Галактики со стороны.

Если бы вы могли выбраться в космос и взглянуть на нашу Галактику, то увидели бы бриллиантовое «колесо» праздничного фейерверка с закрученными спиралями поперечником примерно 100 000 св. лет (30 000 пк). Наша Земля вместе с Солнцем рас-



Рис. 5.1. Участок Млечного Пути в созвездии Стрельца, содержащий множество звезд.

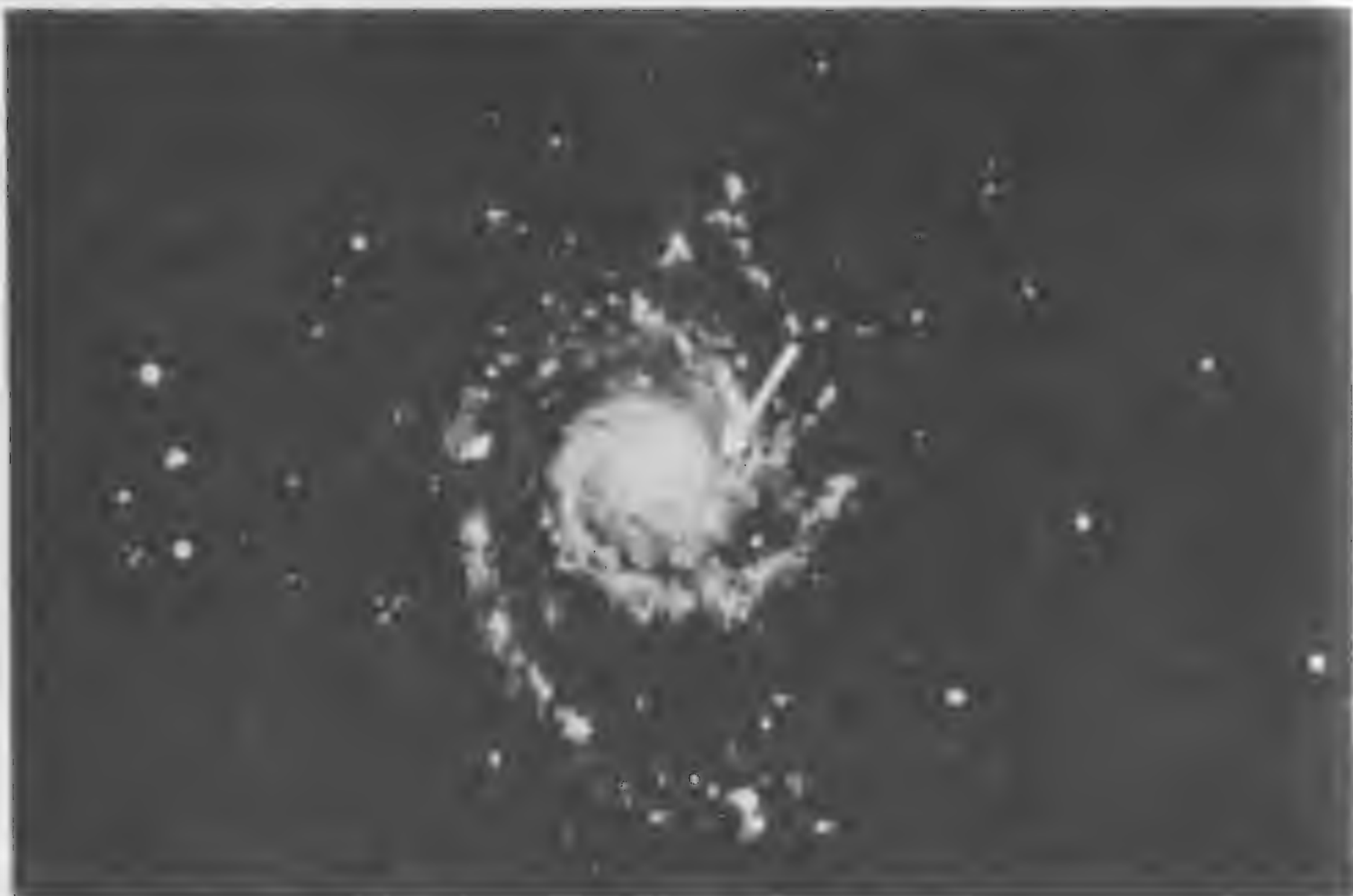


Рис. 5.2. Галактика M74. Стрелка показывает положение Солнца в том случае, если бы это был снимок нашей Галактики.

положена в одном из спиральных рукавов (рис. 5.2). (Стрелка показывает, где бы располагалось Солнце, если бы это была фотография нашей Галактики.)

Если бы на Галактику можно было взглянуть с ребра, то она выглядела бы, как грампластинка с выступающей этикеткой. Толщина центрального вздутия примерно 10 000 св. лет (3000 пк). Толщина диска составляет примерно 1000—2000

Рис. 5.3. NGC 4565, видимая с ребра.



св. лет (300—500 пк). Наше Солнце находится на расстоянии 30 000 св. лет ($10\,000 \pm 800$ пк) от центра (см. стрелку на рис. 5.3).

Наша Галактика вращается в пространстве. Этот факт установлен на основе доплеровского смещения спектральных линий излучения, приходящего из спиральных рукавов. Солнце вместе с семьей планет обращается вокруг центра нашей Галактики со скоростью примерно 800 000 км/ч (250 км/с). Даже при такой невероятной скорости Солнечной системе требуется примерно 200 млн. лет, чтобы завершить один оборот вокруг центра нашей огромной Галактики.

Наша Галактика движется в пространстве в направлении созвездия Гидры со скоростью более 1 500 000 км/ч.

Каков приблизительный диаметр нашей Галактики (а) в световых годах; (б) в километрах?

(а) 100 000 св. лет; (б) 1 миллион триллионов километров.

Решение. 100 000 св. лет $\times$ 10 триллионов километров в световом году.

3. По своей форме наша Галактика относится к спиральному типу галактик. В спиральных галактиках большая часть звезд находится в центральных ядрах и спиральных рукавах, которые вращаются вокруг центра.

В то время как некоторые звезды путешествуют по галактике в одиночку, многие другие перемещаются в плоскости галактического диска группами, называемыми *рассеянными* или *галактическими скоплениями* (рис. 5.4). Зафиксировано более тысячи рассеянных (галактических) скоплений, каждое из которых содержит от 200 до 1000 звезд, расположенных в основном в спиральных рукавах.

Небольшая часть звезд находится в шаровых скоплениях в гало вокруг диска (рис. 5.5). Обнаружено всего около 125 шаровых скоплений, каждое из которых содержит от 10 000 до миллиона звезд.

Общие свойства *нормальных галактик*, таких, как наша, определяются суммарными свойствами составляющих их отдельных звезд. Основная часть массы нашей Галактики сконцентрирована в звездах, подобных Солнцу, масса которого составляет $1,99 \cdot 10^{33}$ г¹. Какова, по вашему предположению, масса всей нашей Галактики? Указание. Используйте данные о примерном количестве звезд в нашей Галактике из раздела 5.1.

¹ Длительное время подобная точка зрения была господствующей, однако ныне активно разрабатывается ряд совершенно других гипотез. Согласно одной из них в центре Галактики находится громадная масса типа черной дыры, согласно другой — подавляющая часть массы Галактики содержится не в звездах, а в потоках нейтрино. — Прим. ред.



Рис. 5.4. Рассеянное звездное скопление Плеяды (M45, NGC1432) в созвездии Тельца; яркие звезды погружены в туманности.

Рис. 5.5. Шаровое звездное скопление (M92, NGC6341) в созвездии Геркулеса.



Более чем в 100 млрд раз превышает массу Солнца, или больше $2 \cdot 10^{44}$ г.

Решение. $100 \text{ млрд. звезд} \times 1,99 \cdot 10^{33} \text{ г} \approx 2 \cdot 10^{44} \text{ г}$

4. Пространство между звездами практически пустое. *Межзвездная среда* — вещество и излучение между звездами. Она обладает гораздо меньшей плотностью, чем самый лучший вакуум, получаемый на Земле.

Межзвездное вещество на 99% состоит из газа (преимущественно из водорода) и на 1% из очень маленьких твердых частиц, называемых межзвездной пылью.

Межзвездное вещество особенно важно, поскольку оно является сырьем для образования новых звезд и планет. В нашей Галактике большая часть межзвездного газа и пыли сконцентрирована в спиральных рукавах, где и образуются новые звезды.

Большое волнение вызвали последние открытия широкого разнообразия *молекул* в межзвездной среде. Среди более чем 50 типов уже открытых молекул встречаются молекулы *водяного пара* и *органические молекулы*. Это ключевые компоненты всей известной на Земле жизни.

С открытием этих межзвездных молекул возникли новые интригующие вопросы о происхождении жизни во Вселенной. Следите за сообщениями на эту тему в текущих публикациях, по мере того как будут происходить новые открытия¹.

Почему для теории звездной эволюции важно знать состав межзвездного вещества в каждой из эпох?

Межзвездное вещество — сырье для образования новых звезд и планет.

5. Наша Галактика образовалась около 12 млрд. лет назад из вращающегося космического облака, состоящего в основном из водорода и гелия, которые уже возникли на ранних стадиях существования Вселенной.

Как вы думаете, из чего должны были образоваться (а) самые старые и (б) самые молодые звезды в Галактике? Объясните ваш ответ.

(а) Из водорода и гелия — элементов, которые служили сырьем в то время, когда наша Галактика была молодой.

(б) Из водорода, гелия и других девяти присутствующих в природе элементов. Межзвездная среда — сырье для образова-

¹ Советские читатели имеют возможность следить за астрономическими новостями по публикациям научно-популярного журнала АН СССР «Земля и Вселенная». — Прим. ред.

ния новых звезд. Первоначальные водород и гелий были обогащены другими элементами, образовавшимися внутри звезд и выброшенными в космос в результате взрыва сверхновых.

★ 6. В некоторых районах нашей Галактики имеются концентрации газа и пыли, называемые туманностями.

Светлая эмиссионная туманность — это облако, светящееся за счет поглощения и последующего переизлучения света находящихся в нем очень горячих молодых звезд. Туманность Ориона (раздел 4.2) — пример, доступный для наблюдения.

Темная туманность — это скопление межзвездного вещества с относительно высокой концентрацией, пылевые частицы которого поглощают или рассеивают звездный свет, поэтому звезды, расположенные позади туманности, наблюдать не удастся.

Некоторым туманностям даны забавные имена на основании их внешнего вида. Посмотрите на рисунок 5.6. Из чего на самом деле «сделана» Конская голова?

Это относительно плотное скопление межзвездной пыли, которое загораживает свет находящихся за ним звезд.

Рис. 5.6. Туманность «Конская голова» (IC434) в созвездии Ориона.





Рис. 5.7. Радиокарта нашей Галактики по наблюдениям, выполненным на длине волны 21 см в Лейденской обсерватории. Центр Галактики и положение Солнечной системы обведены соответственно в большой и малый кружки.

7. Мы не можем заглянуть очень глубоко в нашу Галактику даже с помощью самых больших оптических телескопов из-за того, что нам мешают облака пыли. Радиоастрономы используют *радиоволны*, которые без помех проходят через эти облака и воспроизводят картину нашей Галактики (раздел 2.26).

С помощью радиоволн с длиной волны 21 см построена карта спиральной структуры нашей Галактики. На волне 21 см излучают *атомы водорода*. Наиболее интенсивное излучение идет из районов, где больше атомов водорода,— из спиральных рукавов.

Очень плотные облака водорода в спиральных рукавах нельзя обнаружить по излучению на волне 21 см. В этих районах атомы водорода соединились и образовали водородные молекулы, которые не излучают на волне 21 см. Радиоастрономы могут построить карты самых плотных областей газа на основании изучения наиболее сильных эмиссионных линий окиси углерода.

Сегодня астрономы изучают галактические объекты по излучениям высоких энергий и в инфракрасных лучах. Новые данные продолжают изменять наши представления о Галактике. В последнее время проводились наблюдения центра Галактики в инфракрасных лучах, звездных корон в ультрафиолетовых, а также наблюдения рентгеновских и гамма-всплесков.

Чем особенно интересны области в нашей Галактике с относительно высокой концентрацией газа?

В этих областях образуются новые звезды.



8. *Звездные скопления* — это группы звезд, которые располагаются вместе благодаря их взаимному гравитационному притяжению. Для астрономов они важны тем, что все звезды в скоплении приблизительно одного возраста¹.

Звездные скопления образуются по мере того, как газ конденсируется сразу во множество звезд, а не в одну. Сегодня мы видим доказательство образования звезд в скоплениях потому, что высокий процент наблюдаемых звезд является двойными звездами (раздел 3.21) или членами *кратных звездных систем* (в состав которых входит более двух звезд).

Звездное скопление Плеяды (см. рис. 5.4) — это пример рассеянного, или галактического, скопления; рисунок 5.5 показывает шаровое скопление в созвездии Геркулеса.

Вы можете их пронаблюдать самостоятельно (см. Приложение 4).

Таблица 5. 1. Некоторые свойства звездных скоплений

Характеристика	Рассеянные скопления	Шаровые скопления
Расположение	Галактический диск	Галактическое гало
Возраст	Относительно молодые	Старые
Количество звезд	До 1000	До 1 миллиона
Цвет звезд	Голубые и красные	Красные
Состав	Тяжелые элементы; богаты металлами	Тяжелых элементов нет; бедны металлами

Обратитесь к таблице 5.1. Напишите три различия между рассеянными (галактическими) и шаровыми скоплениями, обнаруженными в нашей Галактике. Примечание: вспомните раздел 3.

¹ Огромный вклад в изучение звездных скоплений внес выдающийся советский астроном, президент Академии наук Армянской ССР, академик В. А. Амбарцумян. — Прим. ред.

Рассеянные (галактические) скопления находятся в галактическом диске; они относительно молоды и содержат небольшое количество звезд. Шаровые скопления располагаются в галактическом гало; они относительно старые и имеют большое количество звезд.

9. Звездные скопления дают наилучшие данные для проверки теории звездной эволюции.

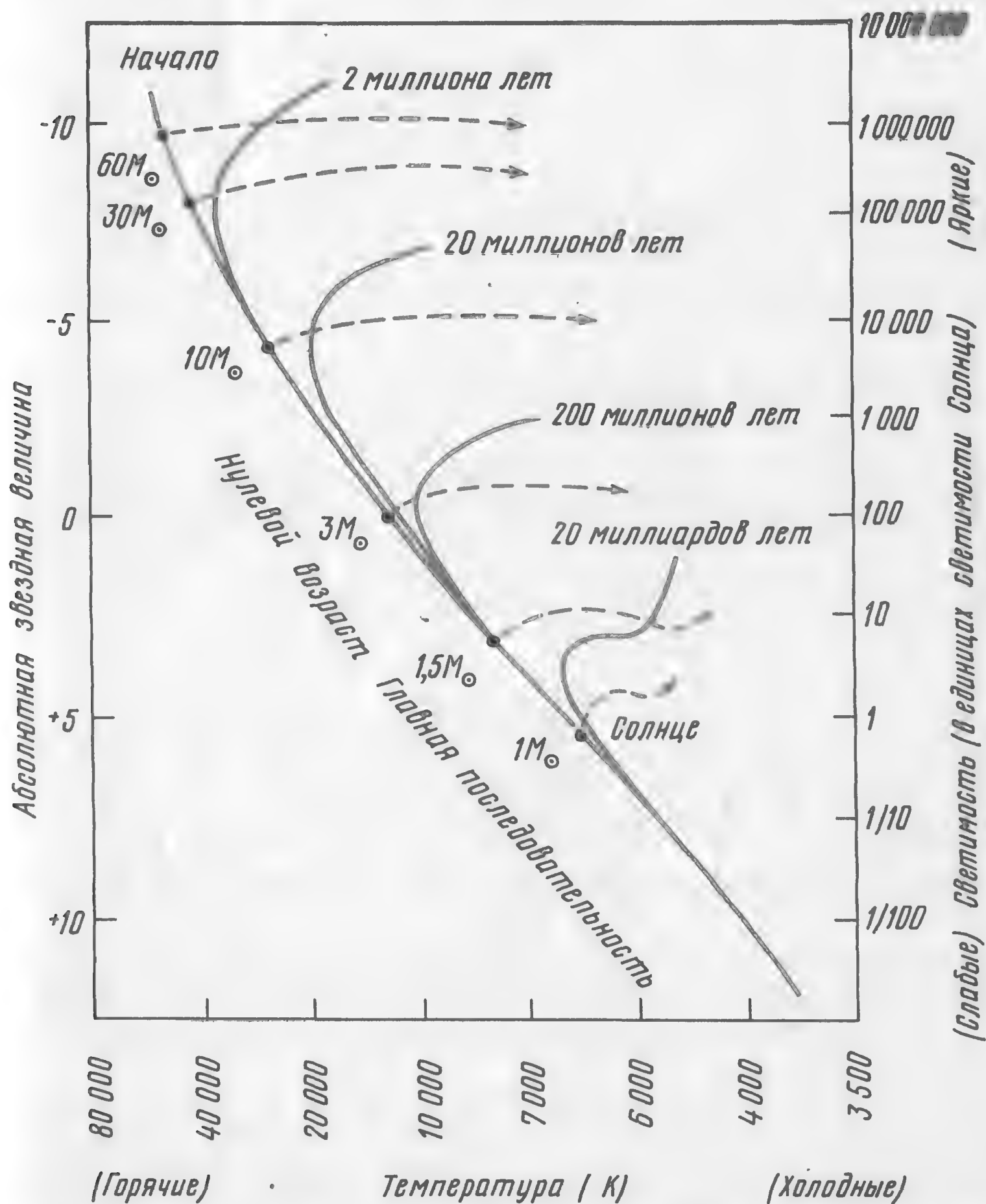


Рис. 5.8. Сплошные линии показывают положение звезд скопления в зависимости от его возраста.

Пунктирные линии показывают эволюционные треки отдельных звезд с указанными массами.

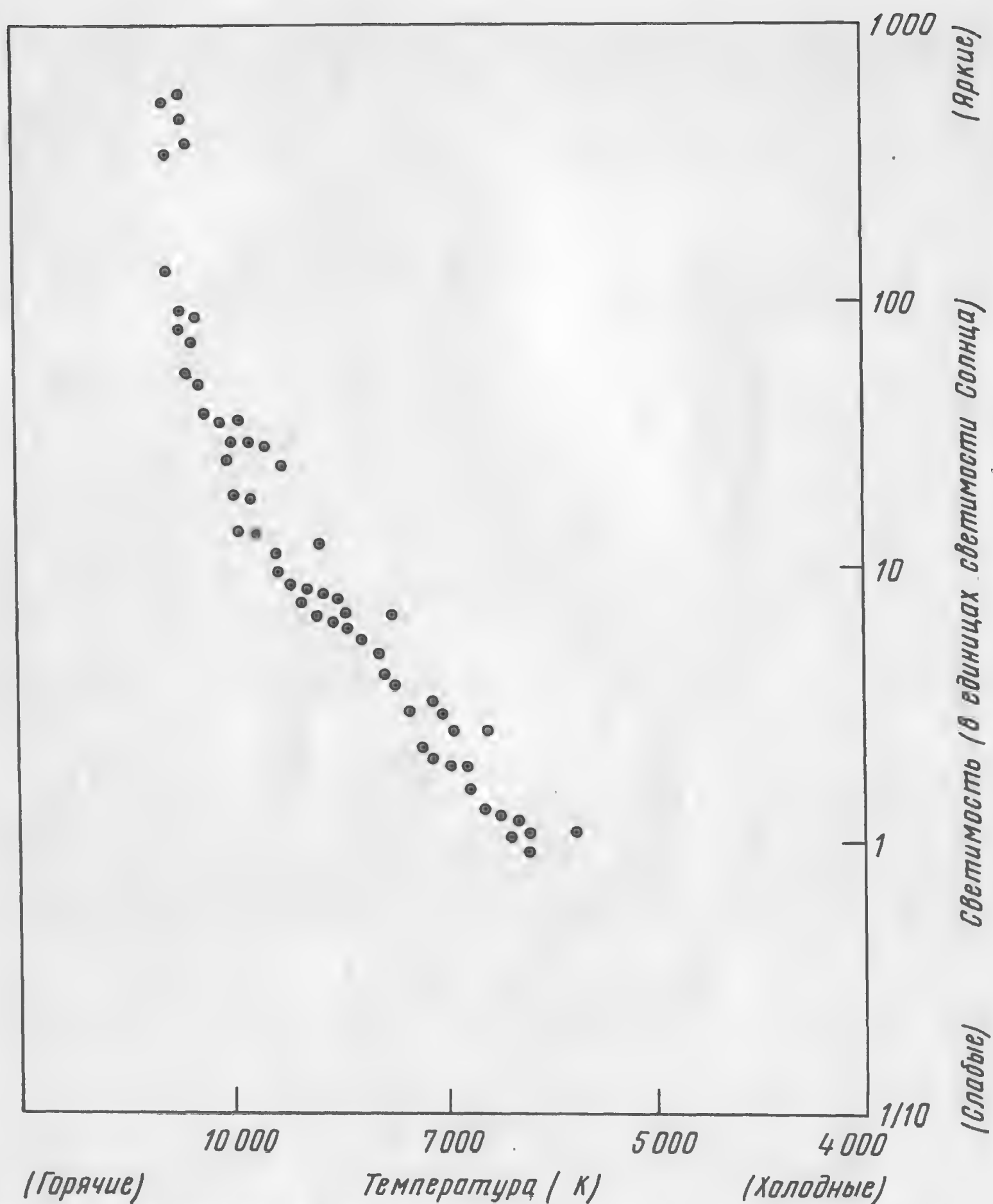


Рис. 5.9. Г—Р-диаграмма для рассеянного (галактического) скопления Плеяды.

Сначала рисуется Г — Р-диаграмма, предсказанная теорией для звезд различных возрастов. Затем теоретическая и наблюдаемая диаграммы сравниваются для подтверждения или опровержения теории.

На рисунке 5.8 представлены теоретически предсказанные эволюционные треки. После рождения все звезды оказываются на главной последовательности. Наиболее массивные располагаются в верхней части главной последовательности, а наименее массивные — внизу. По мере старения все звезды эволюционируют и уходят с главной последовательности. Массивные звезды эволюционируют быстрее, так что чем выше расположена точка поворота, тем моложе звездное скопление.

Сравните Г—Р-диаграмму для скопления Плеяды (рис. 5.9) и шарового скопления М3 (рис. 5.10) с теоретическими треками на рисунке 5.8. Определите, какое из скоплений (а) молодое; (б) старое. Объясните ваш ответ.

(а) Скопление Плеяды — молодое. Большая часть его звезд, даже массивные короткоживущие звезды, все еще находятся на главной последовательности. (Скопление Плеяды родилось только около 70 млн. лет назад.)

(б) М3 — старое. Очень немного звезд находится в верхней половине главной последовательности; многие звезды передвинулись вправо, в район красных гигантов. (Возраст М3 примерно 10 млрд. лет.)

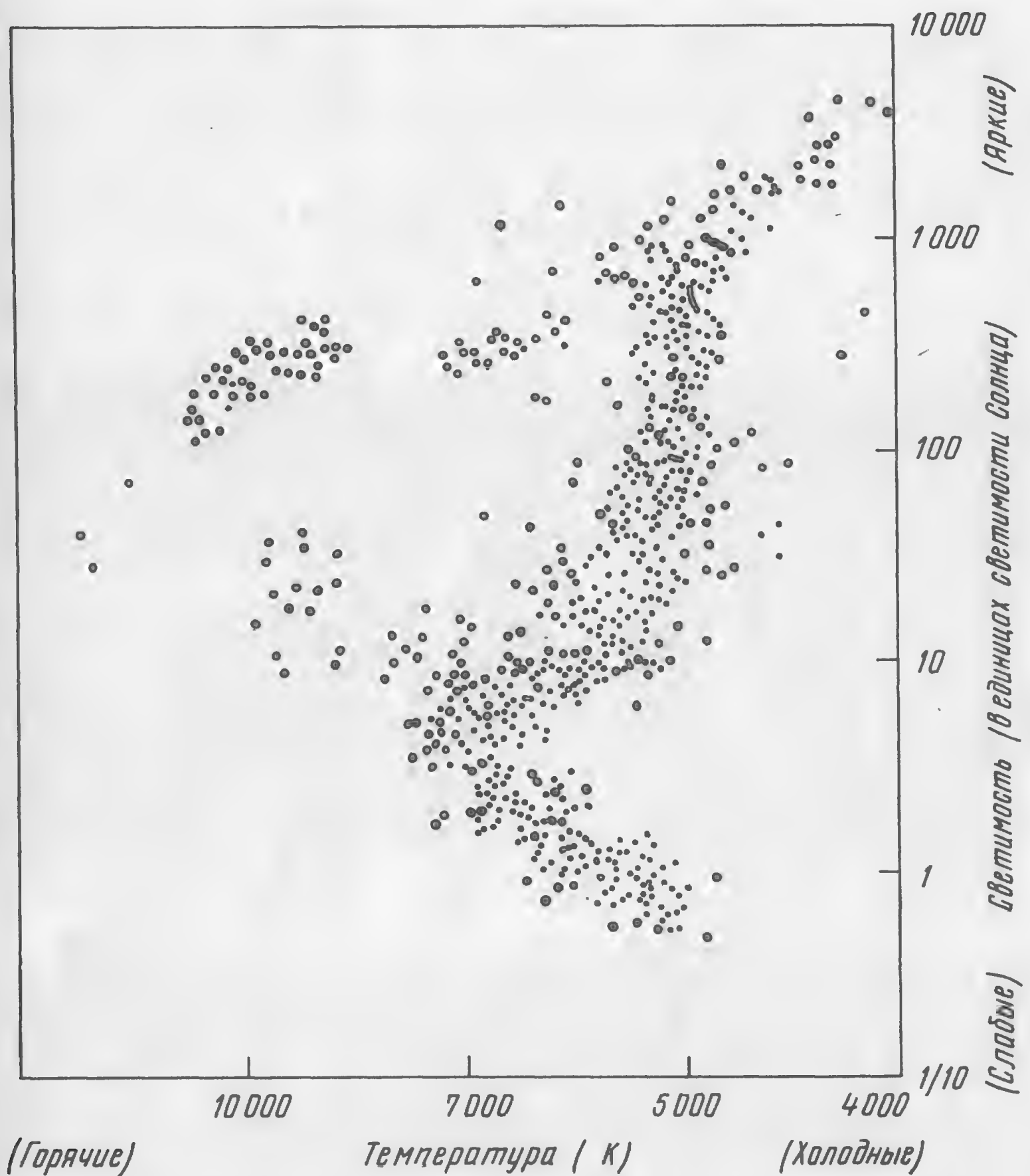


Рис. 5.10. Г—Р-диаграмма для шарового звездного скопления М3.

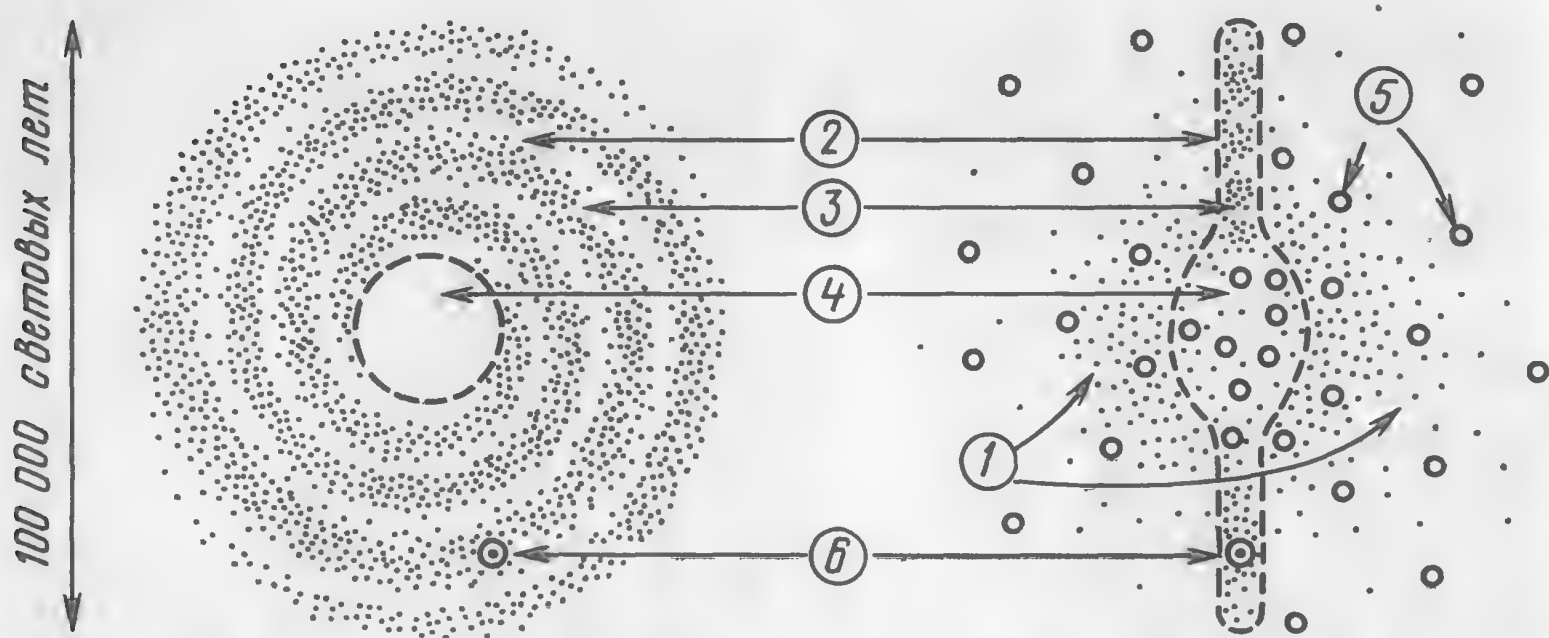


Рис. 5.11. Галактика «Млечный Путь» в двух проекциях.

10. Некоторые объекты нашей Галактики располагаются преимущественно в диске, особенно в спиральных рукавах. Другие находятся в основном в ядре и гало. Эти два класса объектов называются *населением*.

Население I типа звезд, как наше Солнце и его соседи, находится в спиральных рукавах. Эти относительно молодые звезды погружены в пыль и газ, из которых они образуются. Вдобавок к водороду и гелию они имеют относительно высокое содержание металлов.

Население звезд II типа, как и шаровые скопления, располагается поблизости от галактического ядра и в гало. Эти звезды имеют относительно низкое содержание металлов и состоят почти целиком из водорода и гелия.

Как теория объясняет различия между звездными населением I и II типов?

Наша Галактика образовалась из огромного газового облака, состоящего в основном из водорода и гелия. Население II типа — это самые старые звезды. Они образовались из имевшегося в начале образования галактик водорода и гелия. Население I типа — молодые звезды. Они сформировались намного позже из газопылевой материи, обогащенной химическими элементами, возникшими в звездах и выброшенными в пространство взрывами сверхновых.

11. Суммируя то, что вы уже узнали, найдите на рисунке 5.11 применительно к нашей Галактике следующее:

- (a) диск;
- (b) гало;
- (c) спиральный рукав;
- (d) ядро;
- (e) положение Солнца с Землей;
- (f) положение шаровых скоплений.

(a) 2; (b) 1; (c) 3; (d) 4; (e) 6; (f) 5.

12. Еще шестьдесят лет назад наша Галактика оставалась единственной известной звездной системой. В 1924 г. Эдвин Хаббл доказал, что некоторые размытые «туманности», которые наблюдались до этого, являются на самом деле далекими *галактиками*.

Сегодня мы знаем, что Вселенная полна галактик, возможно, их 100 млрд. и каждая тоже содержит примерно по 100 млрд. звезд. Большую часть ярких галактик обозначают по их номерам в Новом Генеральном Каталоге галактик (NGC) или в каталоге Мессье (М) (см. Приложение 4).

Два маленьких, неправильной формы *Магеллановых Облака* являются близлежащими галактиками, спутниками нашего Млечного Пути и удерживаются силами гравитации на расстоянии примерно 150 000 св. лет (46 000 пк и 63 000 пк). Они видны невооруженным глазом из Южного полушария Земли и впервые были описаны мореплавателем Фернаном Магелланом во время его кругосветного путешествия в XVI в.

Галактика Андромеды (M31, NGC 224) — самая близкая к нам из галактик, сходных с нашей по размеру и форме. Она

Рис. 5.12. Галактика Андромеды.



находится на расстоянии примерно 2 млн. св. лет. Это наиболее удаленный объект, который вы можете видеть в космосе невооруженным глазом. Посмотрите осенью на туманное пятнышко света (обозначенное на звездной карте как О Галактика) в созвездии Андромеды. Галактика Андромеды по размеру даже больше, чем наша Галактика, и содержит миллиарды отдельных звезд.

Чтобы уяснить себе, что значит «близко» для галактик, вычислите, сколько таких галактик, как наша, можно выстроить в ряд одну за другой между нами и нашей соседкой — галактикой Андромеды.

Двадцать.
Решение.

$$\frac{\text{Расстояние до галактики Андромеды}}{\text{Диаметр нашей Галактики}} = \frac{2\,000\,000 \text{ св. лет}}{100\,000 \text{ св. лет}} = 20.$$

13. Существуют галактики нескольких различных форм и размеров. Впервые они были классифицированы в группы согласно их *структуре* Эдвином Хабблом в 1926 г.

Эллиптические галактики, обозначаемые буквой *E*, имеют яйцевидную форму. Они могут быть как почти идеальными сферами, *E0*, так и наиболее вытянутыми, *E7*. В эллиптических галактиках нет заметного количества газа и пыли для образования новых звезд. Они, вероятно, содержат старые звезды.

Спиральные галактики делятся на два основных типа. *Нормальные спиральные галактики S*, как наш Млечный Путь, имеют сплюснутый диск, ядро, гало и спиральные рукава, вращающиеся вокруг центра. Они обозначаются *Sa*, *Sb* или *Sc* в зависимости от того, насколько закручены спиральные рукава. Спиральные галактики имеют большое количество газа и пыли в диске и содержат молодые звезды, звезды среднего возраста и старые.

Пересеченные спиральные галактики SB выглядят как нормальные спиральные галактики с той лишь разницей, что их спиральные рукава начинаются от концов перемычки, представляющей собой скопление материи.

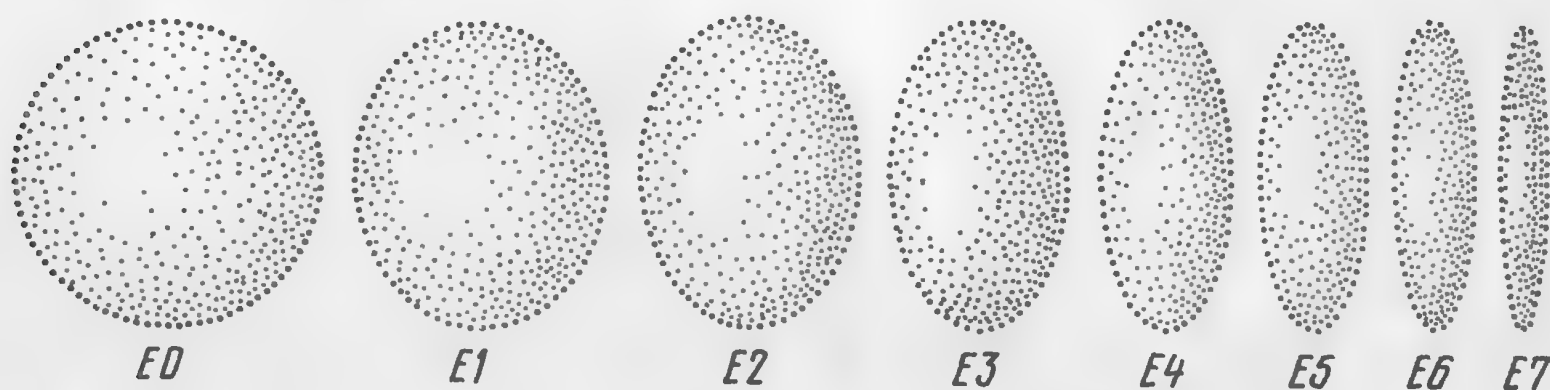


Рис. 5.13. Эллиптические галактики.



Рис. 5.14. Нормальные спиральные галактики.

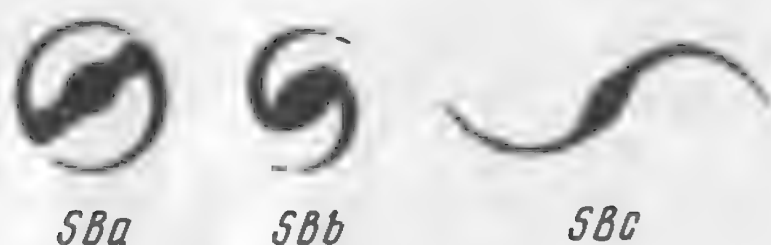


Рис. 5.15. Пересеченные спиральные галактики.

Неправильные галактики *Ir* не имеют определенной геометрической формы. Они обычно содержат газ и пыль, в основном молодые яркие звезды и некоторое количество старых звезд.

Определите тип каждой галактики на рисунке 5.16 согласно классификации Хаббла.

(a) *E0*; (b) *E7*; (c) *Sb*; (d) *Sc*; (e) *SBb*; (f) *Ir*.

14. Э. Хаббл начал систематическое изучение далеких галактик с помощью 100-дюймового телескопа обсерватории Маунт Вилсон, который был самым большим в мире с 1918 по 1938 г. Сегодня астрономы получают намного больше данных об этих отдаленных звездных системах, используя в дополнение к гигантским оптическим телескопам радио-, инфракрасные и рентгеновские приемники.

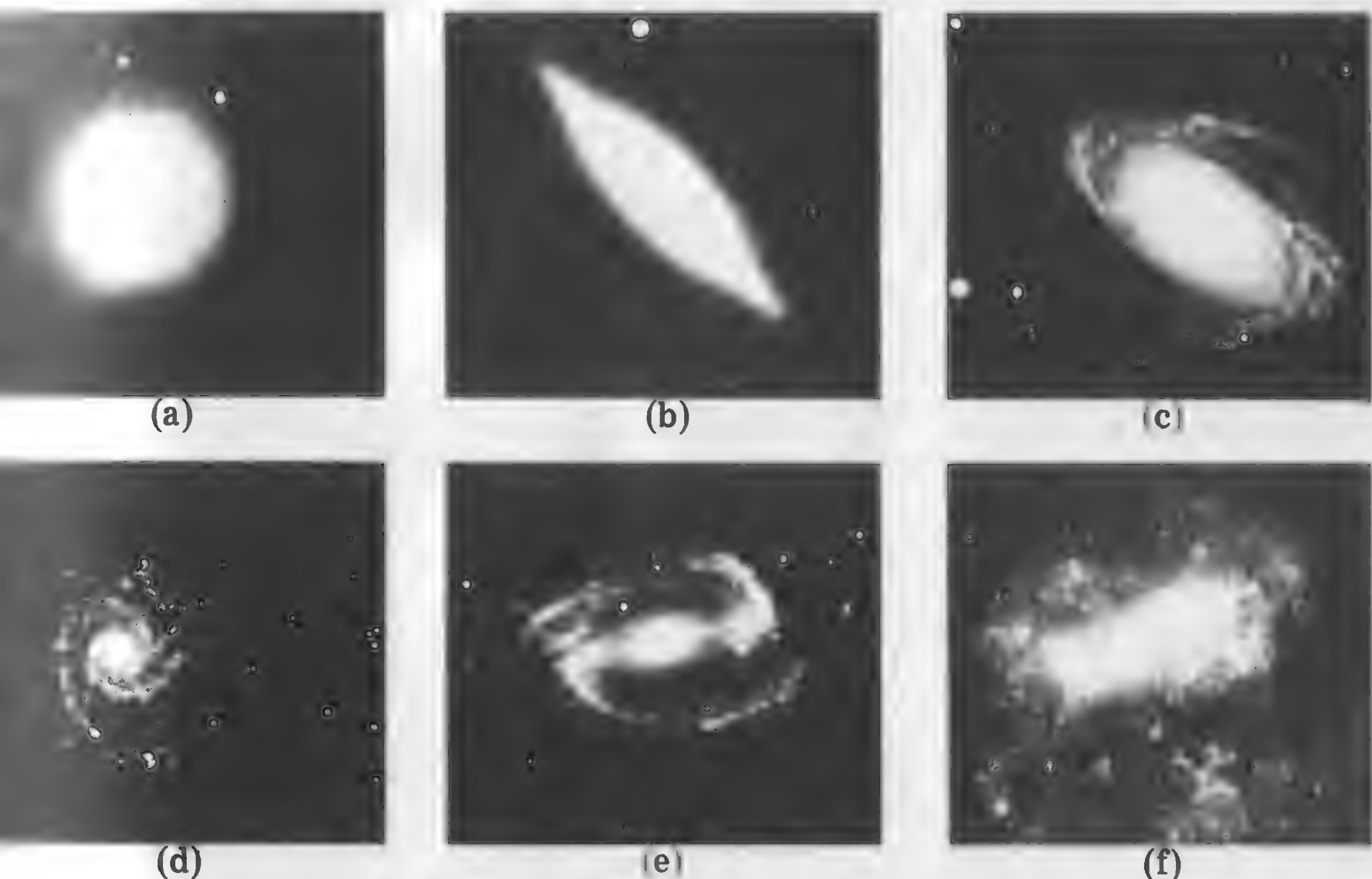


Рис. 5.16. Различные типы галактик.

Таблица 5. 2. Осредненные данные о галактиках

Величина	Спиральные	Эллиптические	Неправильные
Масса (в солнечных массах)	От 1 до 400 млрд.	От 1 млн. до 10 триллионов	От 0,1 до 30 млрд.
Диаметр (в тысячах св. лет)	От 20 до 150	От 2 до 500 (?)	От 5 до 30
Светимость (в солнечных ед.)	От 0,1 до 10 млрд.	От 1 млн. до 100 млрд.	От 0,01 до 2 млрд.
Абсолютная визуальная звездная величина	От —15 до —21	От —9 до —23	От —13 до —18
Состав звездного населения	Старые и молодые	Старые	Старые и молодые
Межзвездное вещество	Газ и пыль	Почти нет пыли; мало газа	Много газа; в некоторых много пыли; в других меньше и иногда нет пыли

Обратитесь к таблице 5.2, которая суммирует осредненные значения данных, собранных к настоящему времени. Укажите на два важных различия между спиральными и эллиптическими галактиками.

Спиральные галактики содержат как старые, так и молодые звезды; эллиптические содержат только старые звезды; в них почти отсутствуют межзвездный газ и пыль.

15. Причина различных форм галактик до сих пор остается неизвестной. Э. Хаббл расположил галактики различной формы вдоль «камертона» (см. рис. 5.17). Он предположил, что зарож-



Рис. 5.17. «Камертон» Хаббла — диаграмма различных типов галактик.

даются галактики в виде эллиптических, затем по мере их старения изменяются в спиральные и в конце концов умирают как неправильные галактики.

Была также предложена теория, согласно которой галактика эволюционирует, или проходит жизненный цикл, противоположным путем: она начинается как неправильная, коллапсирует в спиральную и в конце концов закручивается в эллиптическую.

Какие наблюдательные данные (см. таблицу 5.2) показывают, что различные формы галактик не являются стадиями эволюции в их жизненном цикле?

Все три типа галактик содержат старые звезды. Этот факт показывает, что спиральные и неправильные галактики являются такими же старыми, как и эллиптические; они не могут представлять собой только конечную стадию жизни галактики. Также и эллиптические галактики не могут быть начальной стадией жизненного цикла, как предположил Э. Хаббл, потому что в них нет пыли и газа, которые необходимы для рождения новых звезд, наблюдаемых в спиральных галактиках.

Современная теория предполагает, что эллиптические и спиральные галактики принципиально различны и не преобразуются друг в друга в процессе эволюции. Следите за научными новостями по этим очень интересным проблемам в ближайшие годы.

16. Фотографическое обследование звездного неба показывает, что большинство галактик принадлежит к группам, называемым *скоплениями галактик*. Эти скопления содержат от нескольких галактик до нескольких тысяч. Они удерживаются воедино силами гравитации и движутся вокруг общего центра масс.

Наша Галактика принадлежит к типичной маленькой группе, в которой больше двадцати членов, называемой *Местной группой*. Слово «местная» для группы галактик означает, что они находятся в пределах области поперечником в 3 млн. св. лет: Три из этих галактик — наш Млечный Путь, галактика Андромеды и М33 в созвездии Треугольника — спиральные, а остальные — эллиптические или неправильные.

Богатое скопление содержит, по крайней мере, тысячу членов. Самое близкое богатое скопление галактик находится на расстоянии примерно 62 млн. св. лет (19 млн. пк) в направлении созвездия Девы. Оно содержит около 2,5 тыс. галактик.

Примерно 3000 богатых скоплений галактик были занесены в каталог Джорджем О. Эйбеллом. Наиболее отдаленное из них, по видимому, находится на расстоянии в 4 млрд. св. лет. По всем направлениям в космосе, очевидно, расположено одинаковое количество скоплений галактик, так что Вселенная выглядит однородной в большом масштабе.

Скопление скоплений галактик называется *сверхскоплением*. Наша Галактика является частью *сверхскопления Девы*. Сверхскопления — это самые большие из найденных до настоящего времени во Вселенной гравитационно связанных систем.

Какой из известных типов структур во Вселенной является самым большим?

Сверхскопления галактик.

17. Некоторые галактики, называемые *пекулярными галактиками*, имеют странную форму и необычные характеристики.

Взрывающиеся галактики — пример колоссальных взрывов. Из центра этих галактик выбрасываются водородные газовые потоки на расстояние до 12 000 св. лет со скоростями до 1000 км/с. Такие галактики излучают огромное количество энергии в виде радио-, инфракрасных и рентгеновских волн. Эта энергия не может образоваться в результате обыкновенных реакций ядерного синтеза в звездах нормальных галактик.

Сфотографировано несколько сотен случаев столкновения галактик и близкого прохождения их друг от друга. В *сталкивающихся галактиках* облака газа и пыли уплотняются, увеличивая вероятность образования новых звезд.

Как вы думаете, что произойдет с жизнью на Земле, если наша Галактика столкнется с другой галактикой? Объясните ваш ответ.

Рис. 5.18. Взрывающаяся галактика M82.



По-видимому, ничего. Внутри галактики звезды и их планеты разделены такими огромными расстояниями, что две галактики могут пройти друг через друга без столкновений звезд. (До сих пор не наблюдалось ни одного столкновения между звездами.)

18. *Радиогалактики* излучают огромное количество энергии в радиодиапазоне, сравнимое иногда с излучением миллиона одновременно взорвавшихся сверхновых звезд. Радиоизображение типичных радиогалактик выглядит как два больших пятна, излучающих радиоволны и расположенных по обе стороны от видимой в оптическом диапазоне галактики.

Астрономы задаются вопросом, откуда исходят эти радиопотоки. Радиоэнергия обычно представляет собой *синхротронное* излучение или излучение, создаваемое электронами, двигающимися по спирали в магнитном поле со скоростью, близкой к скорости света.

Вероятно, грандиозные события, протекающие внутри галактики, заставляют электроны циркулировать в магнитном поле, окружающем галактику, и излучать необычно большое количество энергии.

Каково вероятное объяснение природы радиоисточника Центавр А, показанного на рисунке 5.20?

Грандиозное явление, возможно взрыв, происходило в видимой части галактики в отдаленную эпоху, а два огромных облака вещества все еще разлетаются из этой области, излучая мощные радиосигналы.

19. *Сейфертовские галактики* выглядят на фотографиях с длительной экспозицией как спиральные, но сильно отличаются от них. Диаметр ядра сейфертовской галактики обычно равен только 10 св. годам, но светит она в 100 раз ярче (в инфракрасном диапазоне), чем нормальная галактика размером с Млечный Путь. Астрономы еще не нашли объяснение такого огромного энерговыделения.

Чем отличается сейфертовская галактика от нормальной спиральной?



Рис. 5.19. NGC2685. Вероятно, здесь наблюдается столкновение двух галактик.



Рис. 5.20. Галактика Центавр А (NGC5128) и ее радиоизображение.

Сейфертовские галактики имеют маленькие светящиеся ядра, которые сильно превосходят по светимости все нормальные галактики.

20. Среди наиболее загадочных небесных объектов выделяются так называемые *квазары*.

Квазары, или квазизвездные источники радиоизлучения, выглядят на обычных фотографиях как слабые звезды. Квазары невелики для космических объектов, как правило, около 1 св. года в поперечнике (не

намного больше, чем наша Солнечная система), но они светят ярче, чем сто нормальных галактик, состоящих из миллиардов солнц. Они также наблюдались в диапазонах инфракрасных волн и высоких энергий.

Свет от квазаров сильно смещен к красному концу спектра. Большинство астрономов интерпретирует данный факт как доплеровское смещение, а это означает, что квазары удаляются от нас со скоростями до 91% скорости света. Если такое предположение правильно, то квазары — самые удаленные и мощные объекты, которые мы когда-либо фотографировали. Квазар 0Q172 в созвездии Волопаса имеет самое большое измеренное красное

Рис. 5.21. Квазар 3C295 в созвездии Девы.



смещение. Когда этот квазар излучает ультрафиолетовый свет, он принимается на Земле как красный. Если это действительно доплеровское красное смещение, то квазар 0Q172 находится на границе наблюдаемой Вселенной, удаляясь от нас с фантастической скоростью более 1 млрд. км/ч.

Наблюдение двойных или кратных изображений объектов, являющихся, по-видимому, одним и тем же квазаром, поддерживает точку зрения о космологических расстояниях до квазаров. Согласно общей теории относительности Эйнштейна, свет звезд, проходя около массивных тел, искривляется. Галактика, которая намного ближе к нам, чем некоторый квазар, может являться гравитационной линзой, создающей его кратное изображение.

Некоторые астрономы не согласны с этим. Из теории относительности Эйнштейна они выводят, что огромное гравитационное притяжение может вызвать очень сильное красное смещение у квазаров (*гравитационное красное смещение*). Если так, то квазары могут и не располагаться так далеко и не быть такими мощными источниками излучения.

Если квазары действительно находятся так далеко от нас, то объяснение работы таких сверхмощных космических силовых станций требует специальных гипотез. Их было предложено несколько. Квазары могут принадлежать к семейству галактик, так как по яркости, размеру и спектру они напоминают сейфертовские галактики. Энергию они могут черпать из столкновения частиц материи с экзотической *антиматерией*. Возможно даже существование новых источников энергии, неизвестных сегодня физике. Следите за сообщениями о таинственных квазарах в последующие годы.

Что особенно необычно в квазарах?

Источник огромной энергии, которым они обладают, при условии, что они действительно находятся так далеко, как это следует из красного смещения линий в их спектрах.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал пятой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Дайте определение галактики.

2. Расположите в порядке увеличения размера: звезда, планета, галактика, скопление галактик, рассеянное скопление, сверхскопление, Солнечная система.

3. Схематично нарисуйте нашу Галактику, видимую с ребра, и укажите (a) диаметр; (b) диск; (c) ядро; (d) спиральный рукав; (e) гало; (f) положение Солнца и Земли; (g) положение шаровых скоплений.

4. Что из нижеперечисленного было найдено в межзвездной среде: водород, излучение, бактерии, маленькие твердые частички пыли, вирусы, водяной пар, привидения, элементы тяжелее водорода, органические молекулы, водоросли?

5. Почему для теории звездной эволюции так важно знать, из чего состоит межзвездное вещество в разные эпохи?

6. Обратитесь к рисунку 5.6. Действительно ли позади Конской головы пространство не содержит звезд? Объясните.

7. Почему радиоволны с длиной 21 см, излучаемые атомами водорода, при составлении карт структуры нашей Галактики оказываются более полезными, чем видимый свет?

8. Обратитесь к Г—Р-диаграмме звездных скоплений 1 и 2 (рис. 5.22 и 5.23). (а) Какое скопление старше?

(b) У какого скопления звездное население 1 типа?

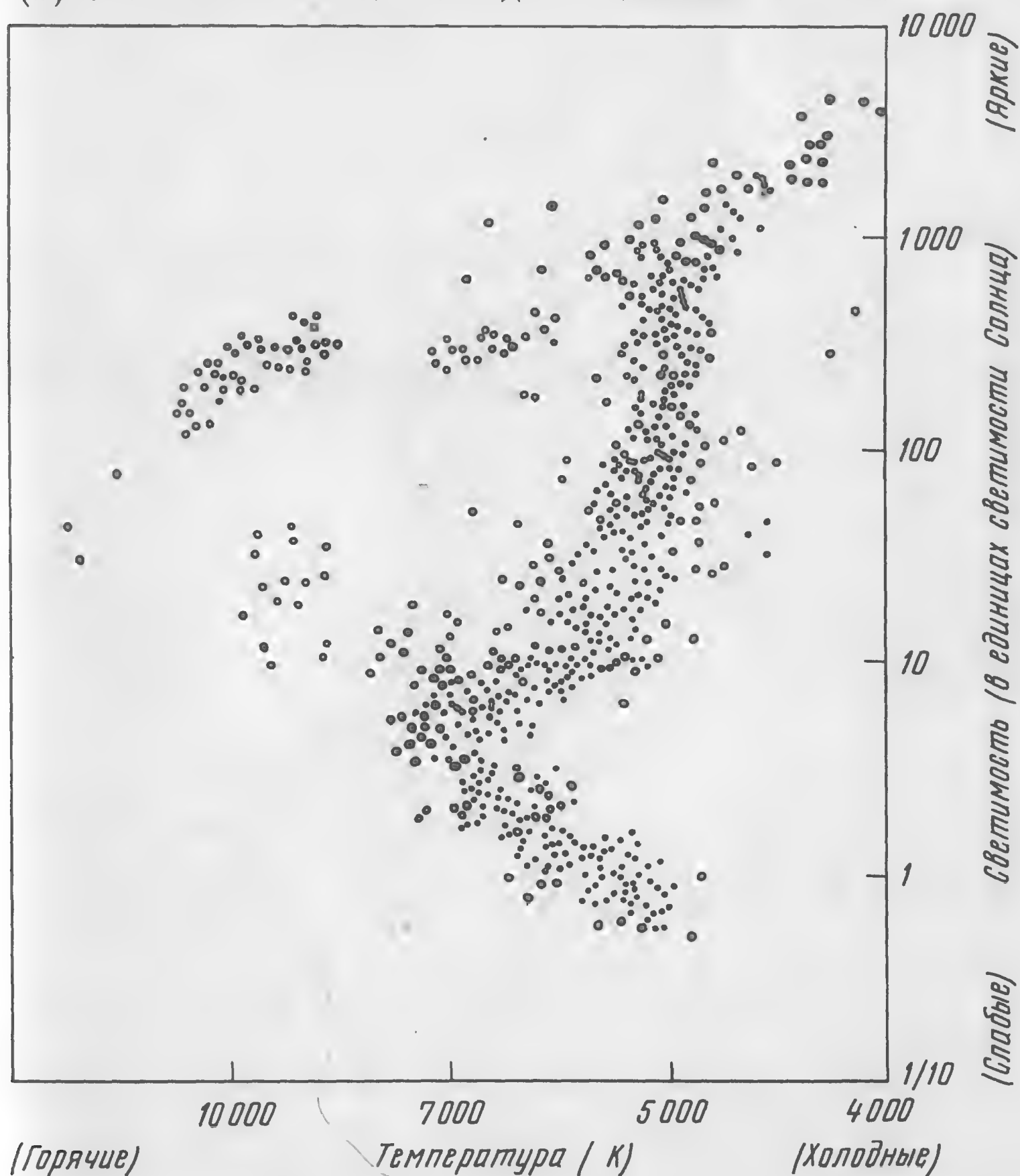


Рис. 5.22. Г—Р-диаграмма («Скопление 1»).

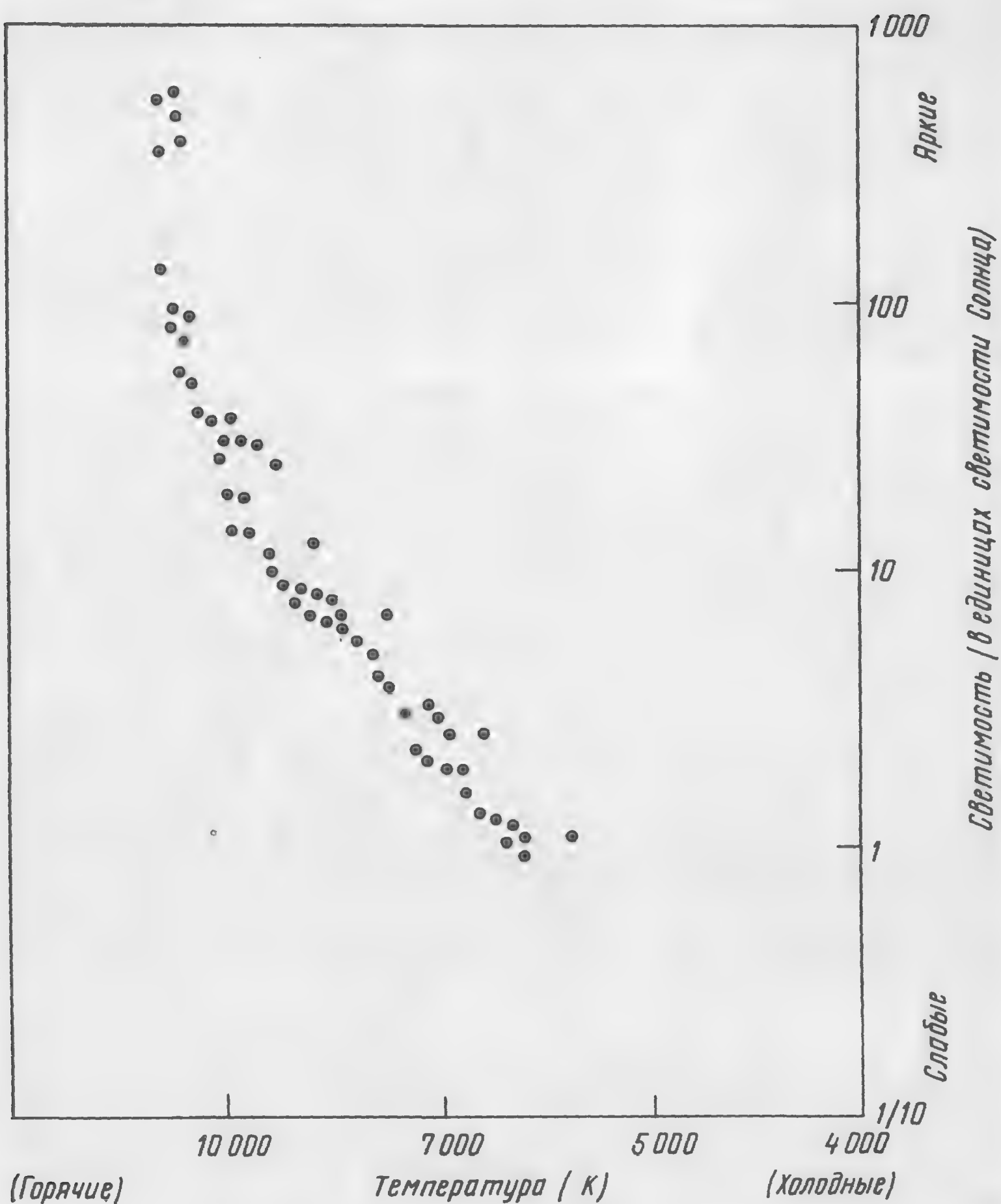


Рис. 5.23. Г—Р-диаграмма («Скопление 2»).

(с) Какое скопление содержит звезды с относительно высоким содержанием металлов?

(d) Какое скопление шаровое?

(e) Какое скопление содержит много ярких голубых звезд?

(f) Какое из них может содержать до 10 млн. звезд?

9. (a) Какой наиболее удаленный объект виден невооруженным глазом?

(b) Сколько требуется времени излученному этим объектом свету, чтобы достичь ваших глаз?

10. Перечислите основные формы галактик согласно классификации Хаббла и объясните, почему они не могут последовательно представлять стадии эволюции галактик

11. Подберите правильное описание к объектам.

(a) Потоки водорода, вылетающие со скоростью 1000 км/с, вероятно, в результате происходящих внутри бурных процессов.

(b) Облака газа и пыли были бы здесь намного плотнее, что увеличивает вероятность образования молодых звезд.

(c) Радиоизображение показывает две большие области, излучающие радиоволны и расположенные с диаметрально противоположных сторон видимой галактики.

(d) Имеет относительно маленькое ядро, которое светит в 100 раз ярче, чем вся наша Галактика, в основном в диапазоне инфракрасных длин волн.

(e) Светимость и другие свойства могут быть объяснены как совокупный вклад многих отдельных звезд.

(f) Имеют наибольшие из известных красные смещения.

1. Сталкивающиеся галактики
2. Взрывающиеся галактики
3. Нормальные галактики
4. Квазары
5. Радиогалактики
6. Сейфертовские галактики

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Гигантское скопление звезд, газа и пыли, удерживаемое в пространстве силами тяготения (раздел 1).

2. Планета, звезда, Солнечная система, рассеянное звездное скопление, галактика, скопление галактик, сверхскопление (разделы 1, 2, 8, 16).

3. Разделы 2, 3, 11 (рис. 5.24).

4. Водород, излучение, маленькие твердые частички пыли, водяной пар, элементы тяжелее водорода, органические молекулы (раздел 4).

5. Межзвездное вещество — сырье для образования новых звезд и планет (разделы 4, 5).

6. Нет. Конская голова — темная туманность. Она представляет собой относительно плотное скопление межзвездного

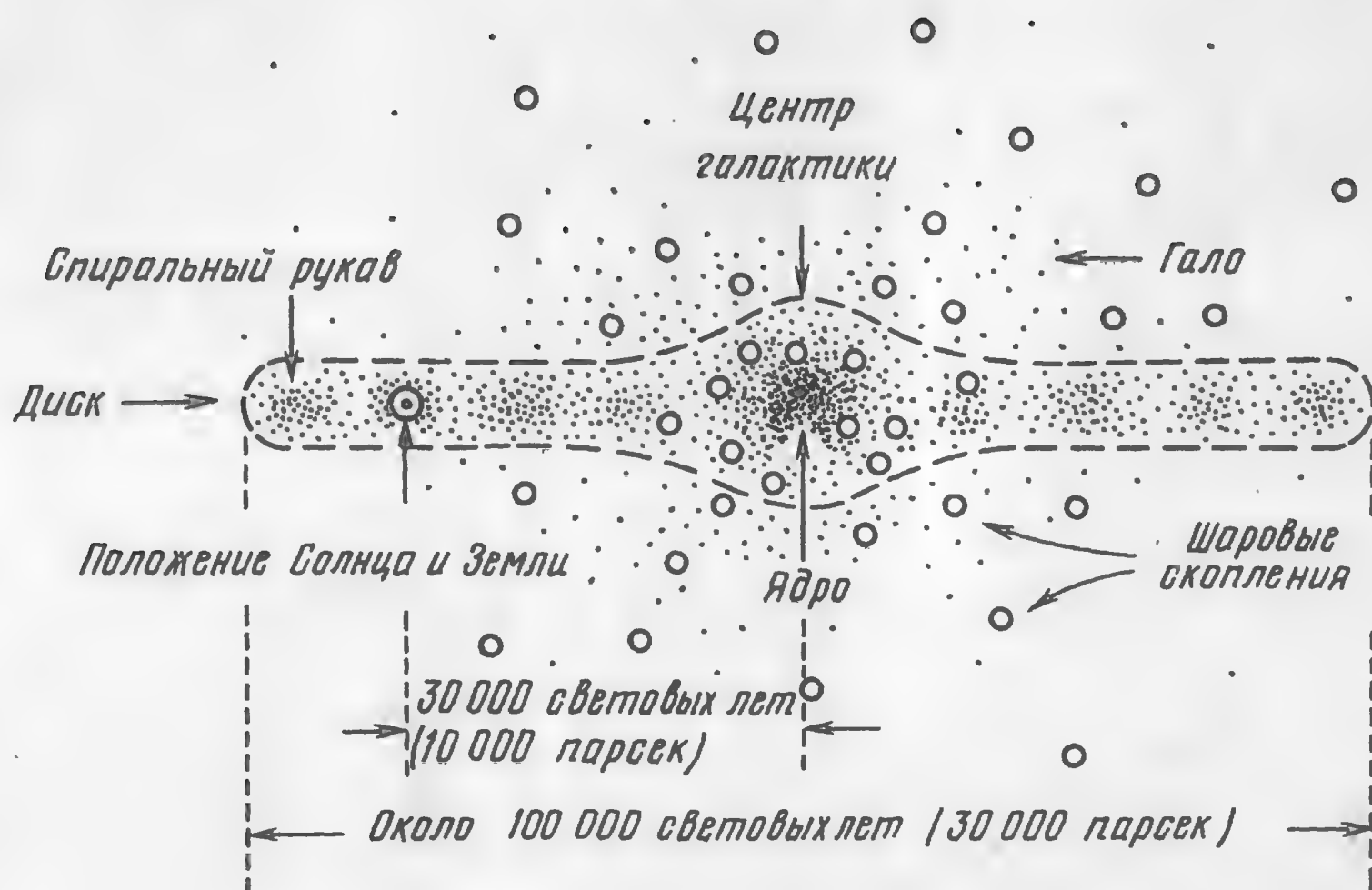


Рис. 5.24. Галактика «Млечный Путь», наблюдаемая с ребра.

вещества, которое поглощает или рассеивает свет расположенных за ней звезд (раздел 6).

7. Радиоволны проходят через межзвездную пыль в диске Галактики намного лучше, чем видимый свет (раздел 7).

8. (a) 1; (b) 2; (c) 2; (d) 1; (e) 2; (f) 1 (разделы 8, 9, 10).

9. (a) Галактика Андромеды; (b) 2 млн. лет (раздел 12).

10. Эллиптическая, спиральная, пересеченная спираль, неправильная. Все содержат старые звезды, так что они должны быть одинаково старые (разделы 13, 14, 15).

11. (a) 2; (b) 1; (c) 5; (d) 6; (e) 3; (f) 4 (разделы 3, 17, 18, 19, 20).

ВСЕЛЕННАЯ

1. Людей всегда интересовало, как начался наш мир и каким будет его конец. *Космология* — научная дисциплина, имеющая дело с происхождением, современной структурой, эволюцией и будущей судьбой Вселенной.

Чтобы попытаться объяснить, как возникла Вселенная, как она изменяется с течением времени и что с ней случится в будущем, астрономы разрабатывают гипотезы, называемые *космологическими моделями*. Эти модели должны соответствовать наблюдательным данным астрономии.

В своей основе космологические модели сильно отличаются от религиозных объяснений картины мира. Можете ли вы указать на различие?

Космологические модели не нуждаются в сверхъестественных причинах для объяснения физических явлений, а описывают их только с помощью законов природы.

2. Важнейший наблюдательный факт, который должна объяснить любая модель, это смещение длин волн света далеких галактик к красному концу спектра. Это явление называется *космологическим красным смещением*.

Современная теория полагает, что красное смещение — это эффект Доплера (см. рис. 3.9), свидетельствующий об удалении от нас других галактик. Самые далекие из наблюдаемых нами галактик имеют наибольшее красное смещение. Они удаляются быстрее всех (рис. 6.1).

В каком бы направлении мы ни посмотрели во Вселенную, все галактики удаляются от нас. Что можно сказать о Вселенной на основании этих наблюдений?

Что Вселенная расширяется.

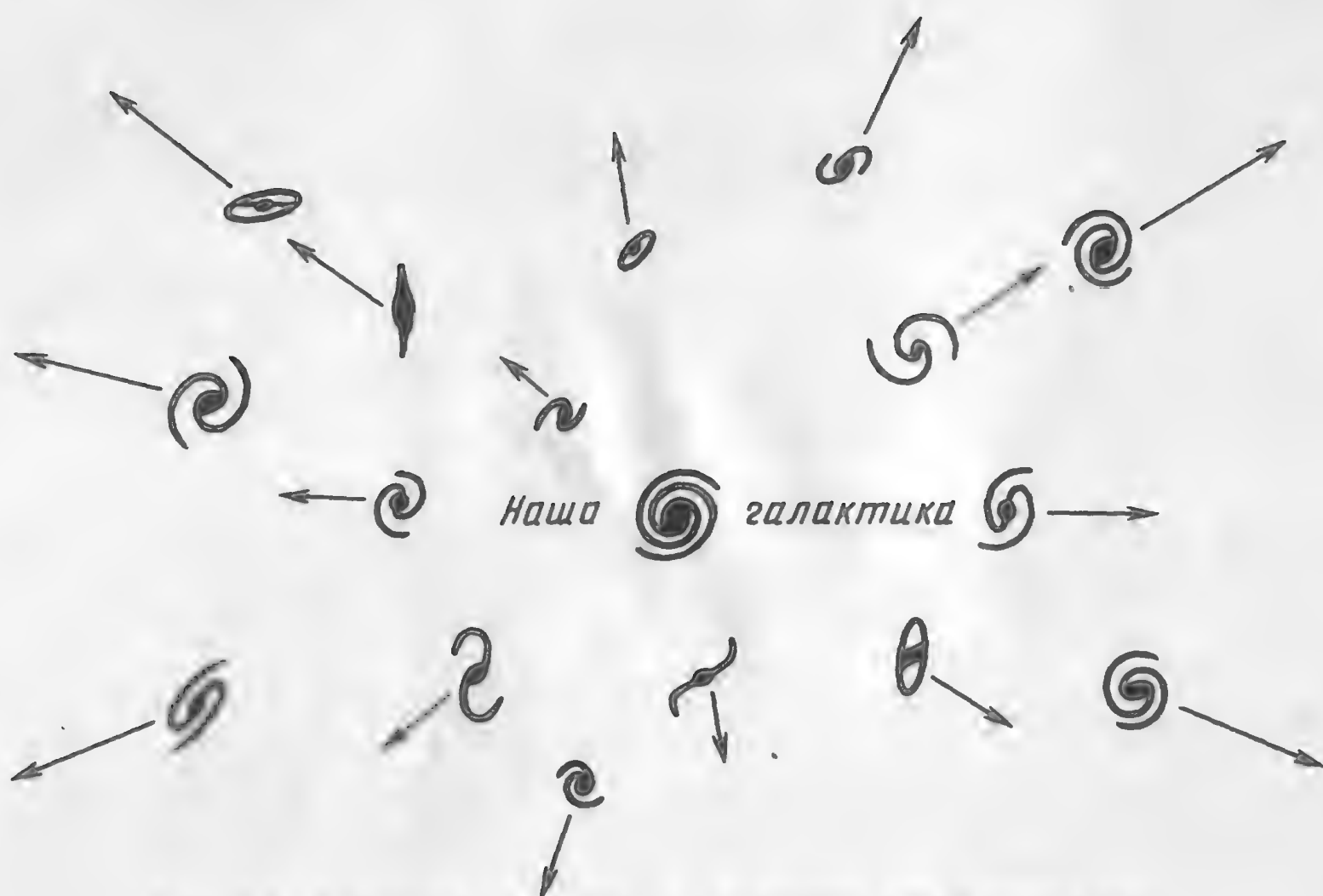


Рис. 6.1. Удаление галактик от Галактики «Млечный Путь».

3. Посмотрите на рисунок 6.2, где показано красное смещение и соответствующие ему вычисленные скорости для пяти галактик, находящихся на различных расстояниях от нас. Для сравнения выше и ниже спектральных линий каждой галактики показаны лабораторные спектральные линии. В левой части верхнего спектра наблюдается пара линий поглощения в нормальном положении.

На последующих фотографиях спектров эти две линии сдвинуты к красному концу, и тем больше, чем дальше от Земли находится галактика.

Используя данные рисунка 6.2, постройте на рисунке 6.3, а график, нанося на него точки в соответствии со скоростью удаления и расстоянием до каждой из пяти галактик. Что вы заметите, если соедините плавной линией все пять точек?

Все точки лежат вблизи прямой линии. Это означает, что существует линейная зависимость между скоростью удаления галактик и их расстоянием от Земли (рис. 6.3, б).

4. Эдвин Хаббл, посвятивший большую часть своей жизни изучению галактик, исследовал зависимость между скоростью удаления и расстоянием до галактик. Он обнаружил, что линейная зависимость, которую вы только что нашли, в общем справедлива: чем дальше от нас галактика, тем быстрее она удаляется.

Закон Хаббла (1929 г.) гласит, что скорость удаления галактики v прямо пропорциональна ее расстоянию от нас x . Закон

ГАЛАНТИНА в



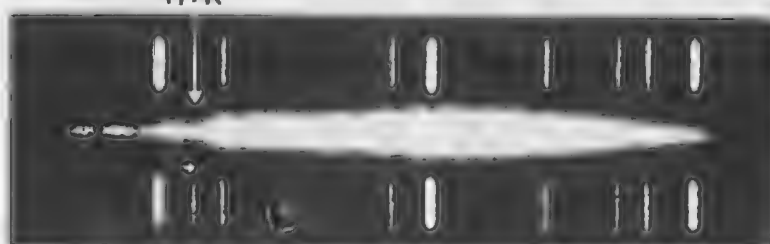
Деве

РАССТОЯНИЕ В СВЕТОВЫХ ГОДАХ

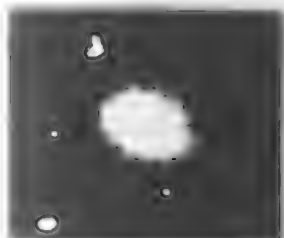
78 000 000

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

указано стрелкой
H+K

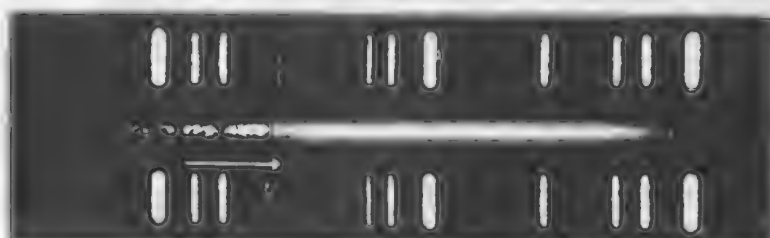


Скорость = 1 200 км/с



Большой
Медведице

1 000 000 000

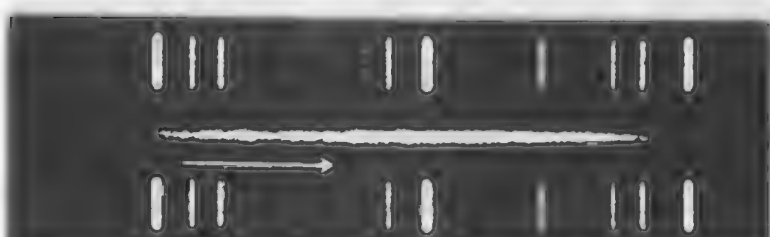


15 000 км/с



Северной
Норне

1 400 000 000

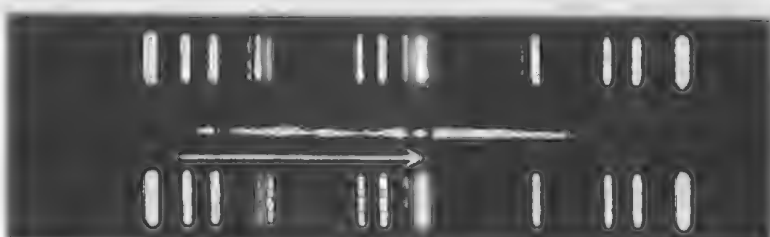


22 000 км/с

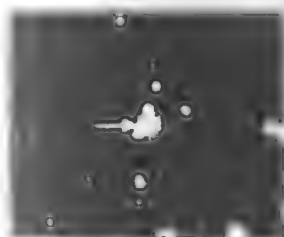


Волпасе

2 500 000 000



39 000 км/с



Гидре

3 960 000 000



61 000 км/с

Рис. 6.2. Красное смещение и соответствующие ему скорости пяти галактик.

Хаббла может быть записан алгебраически в виде:

$$v = Hx,$$

где H называется *постоянной Хаббла*.

Постоянная Хаббла является очень важной величиной, так как она задает скорость удаления галактик, или скорость, с которой расширяется Вселенная. Точно измерить по-

СИНИЙ ← → КРАСНЫЙ



Рис. 6.3.а.

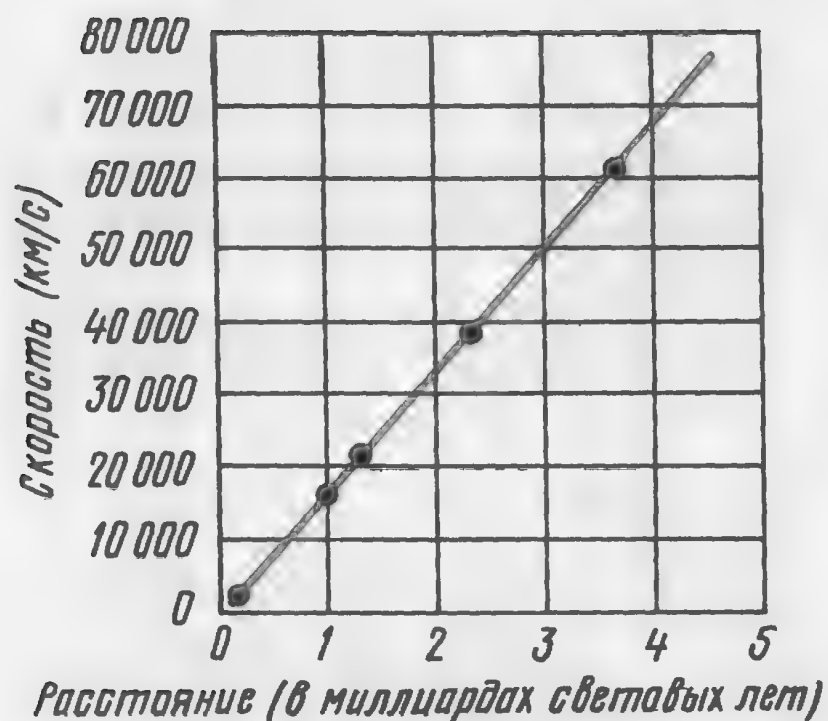


Рис. 6.3.в.

стоянную Хаббла трудно (см. разделы 6.10 и 6.11), и ее числовое значение зачастую оказывалось ненадежным. В 1974 г. Сэндидж и Тамман сообщили о величине примерно равной 17,5 км/с на каждый миллион световых лет ($57 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$). Как сейчас полагают, H находится в интервале значений от 45 до 120 км/(с · Мпк).

Ряд квазаров имеют самое большое красное смещение, которое когда-либо наблюдалось (раздел 5.20). Если это явление — доплеровский эффект, что вы можете сказать о расстоянии до них?

Эти квазары — наиболее удаленные из известных сегодня космических объектов. Закон Хаббла гласит, что самые далекие объекты — это те, которые быстрее всего удаляются.

5. Для того чтобы попытаться понять устройство Вселенной, приходится делать различные допущения, главное из которых называется *космологическим принципом*. Космологический принцип постулирует, что в большом масштабе и в любое данное время Вселенная везде одинакова.

Согласно этому принципу, любой наблюдатель в любом месте во Вселенной увидел бы в любое данное время примерно ту же самую картину, что и в большом масштабе. Наши космические окрестности также ничем особенным не выделяются.

Важность космологического принципа заключается в том, что знания, полученные на основании изучения небольших участков наблюдаемой Вселенной, мы можем распространить на всю Вселенную в целом.

Это позволяет нам построить теорию, которая будет объяснять всю Вселенную, включая даже те отдаленные участки, которые мы не можем наблюдать.

Наши наблюдения показывают, что по всем направлениям в космосе расположено примерно равное число галактик и все они от нас удаляются. Значит ли это, что наша Галактика — центр всей Вселенной?

Нет. Космологический принцип гласит, что если бы вы перенеслись в любую другую галактику и взглянули в космос, то опять бы увидели примерно равное число удаляющихся галактик по всем направлениям.

Для иллюстрации этого принципа вы можете проделать простой эксперимент. Возьмите воздушный шарик. Наугад нанесите на его поверхность точки, которые изобразят галактики. Обозначьте одну из них Г, пусть она будет нашей Галактикой. Надувайте шарик. Понаблюдайте, как все точки (галактики) будут удаляться друг от друга.

6. Теория Большого Взрыва — одна из космологических моделей, которая гласит, что Вселенная возникла более 18 млрд. лет назад в результате громадного взрыва. Все вещество нашей современной Вселенной первоначально было сжато в *первичное ядро* — чрезвычайно горячий, плотный шар, который распался вследствие сильнейшего взрыва. Взрыв, наряду с излучением, привел к выбросу водорода, гелия и свободных электронов.

Выброшенное в космос вещество расширилось и охладилось. Несколько миллионов лет спустя оно сконденсировалось в галактики. Вселенная продолжала расширяться, и галактики продолжали удаляться друг от друга.

Сегодня мы продолжаем наблюдать расширение Вселенной. В галактиках все еще рождаются звезды, и на это расходуются первичный водород, образовавшийся в результате Большого Взрыва.

В будущем весь первичный водород будет полностью использован в звездах. Тогда все звезды и галактики перестанут светить. Если Вселенная, началом которой послужил Большой Взрыв, будет расширяться до бесконечности, то она, постепенно охлаждаясь, совершенно угаснет.

Обратитесь к рисунку 6.4, найдите и кратко опишите различные стадии эволюции Вселенной согласно теории Большого Взрыва.



Рис. 6.4. Стадии эволюции Вселенной (теория Большого Взрыва).

7. Следующая модель — *теория пульсирующей Вселенной* — утверждает, что начало нашему миру положил Большой Взрыв, но расширение не будет продолжаться вечно. Гравитация его остановит.

Согласно этой модели, Вселенная в прошлом всегда пульсировала — расширялась или сжималась, и всегда будет пульсировать в будущем.

Мы оказались очевидцами расширяющейся фазы Вселенной. Наша Вселенная расширяется уже в течение 18 млрд. лет со времени гигантского взрыва вещества, описанного теорией Большого Взрыва.

В будущем расширение Вселенной замедлится, затем произойдет полная остановка, после чего она начнет сжиматься. По мере сжатия галактики начнут приближаться друг к другу до тех пор, пока все вещество вновь не соберется вместе. После этого произойдет новый Большой Взрыв и возникнет новая расширяющаяся Вселенная из той же самой материи. Вселенная пульсирует вечно.

Обратитесь к рисунку 6.5. Кратко опишите стадии эволюции Вселенной согласно теории пульсаций.

(а) Произошел Большой Взрыв; (b) Образовались галактики, которые продолжают удаляться друг от друга; (с) Мы живем в расширяющейся Вселенной; галактики удаляются одна от другой; (d) Разбегание приостановилось; (e) Вселенная будет сжиматься, галактики начнут двигаться назад; (f) Вещество снова соберется вместе; (g) Произойдет новый Большой Взрыв, и Вселенная возродится вновь.

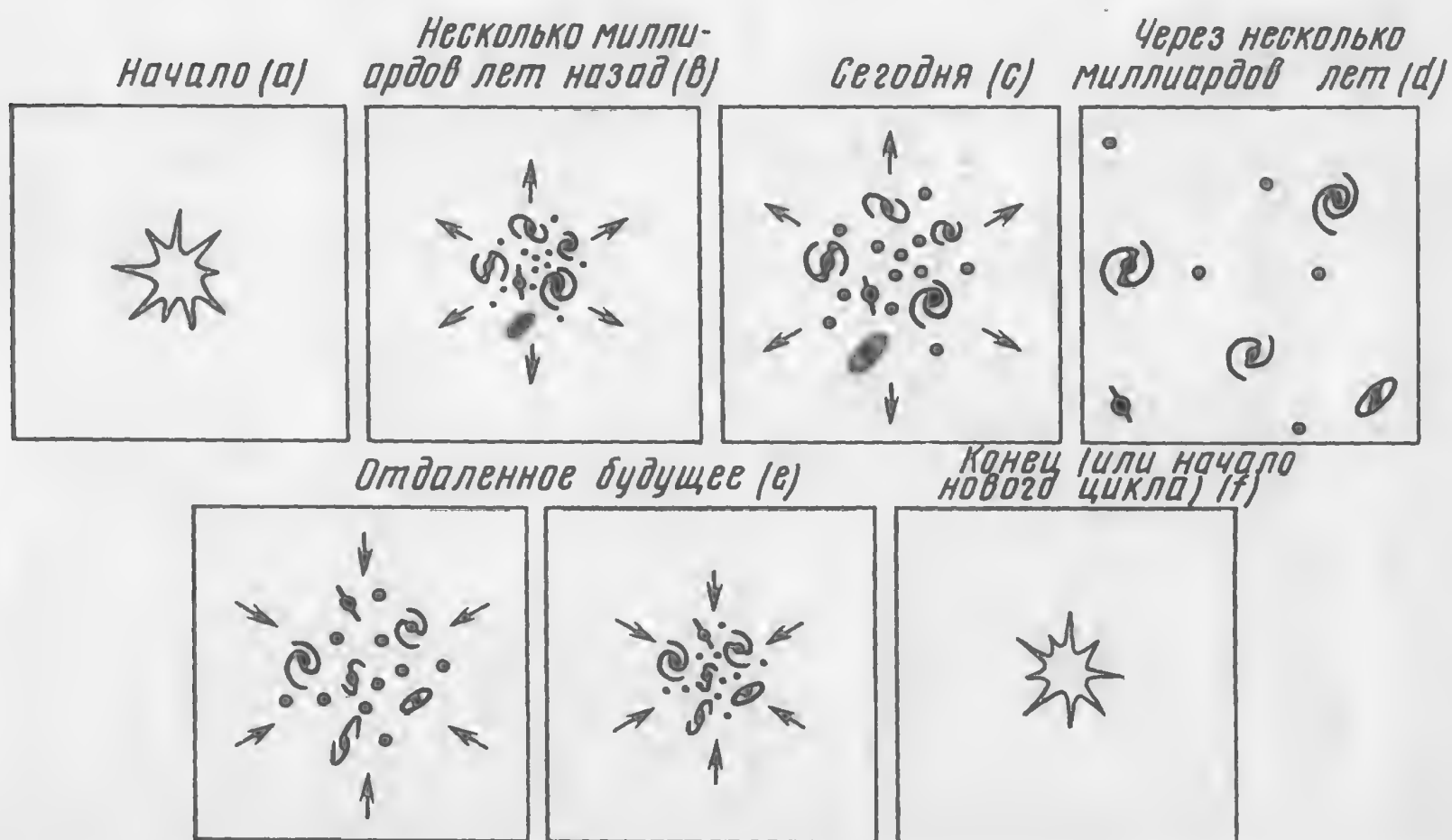


Рис. 6.5. Стадии эволюции Вселенной (теория пульсирующей Вселенной).

8. Третья модель — теория стационарной Вселенной — утверждает, что мир не эволюционирует и не изменяется со временем. В прошлом не было начала и в будущем не будет конца мира. И в прошлом, и в настоящем, и в будущем — Вселенная всегда одна и та же.

В основе этой модели лежит *совершенный космологический принцип*. Согласно этому принципу, *везде* в большом масшта-

бе и *во все времена* Вселенная не изменяется. Средняя плотность вещества все время поддерживается одинаковой.

Для того чтобы объяснить наблюдательный факт расширения Вселенной, эта модель предполагает, что в пустом пространстве непрерывно образуется водород со скоростью, достаточной для того, чтобы возместить количество вещества, уносимое удаляющимися галактиками.

Многие астрономы возражают против модели стационарной Вселенной из-за того, что в ней предусмотрено непрерывное образование нового водорода без каких-либо объяснений его возникновения. Предполагаемое явление нарушает основной закон физики — *закон сохранения энергии*, который постулирует постоянство общего количества энергии в изолированной системе. Энергия не может образоваться или исчезнуть, но внутри системы может происходить ее перераспределение.

Некоторые ученые придерживаются теории стационарной Вселенной из-за ее философской концепции. Она определяет Вселенную как всегда существовавшую в прошлом и вечно существующую в будущем.

Используя рисунок 6.6, кратко опишите Вселенную согласно стационарной модели.

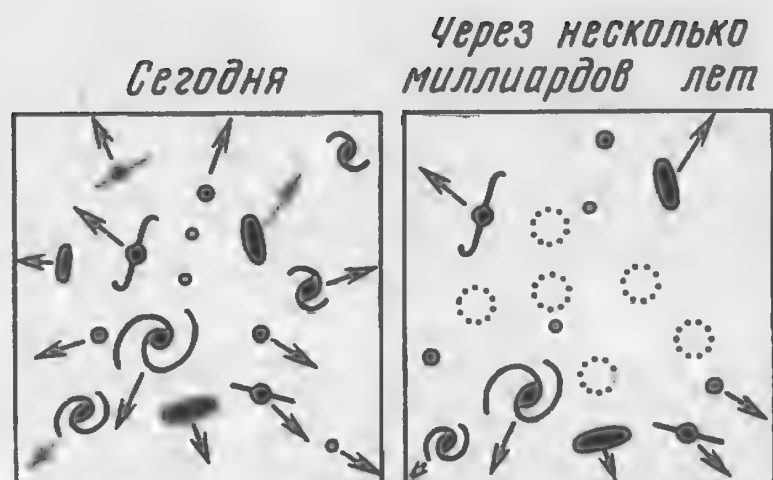


Рис. 6.6. Стадии эволюции Вселенной (теория стационарной Вселенной).

(а) Галактики удаляются, Вселенная расширяется, образуется новое вещество и новые галактики.

(б) По-прежнему происходит все то же самое. Вселенная поддерживает всегда одну и ту же среднюю плотность.

9. Составьте небольшой текст, в котором будет показано, как каждая из трех указанных космологических моделей отвечает на вопрос: «Имеет ли Вселенная начало в прошлом и конец в будущем?»

Ваш ответ должен включать следующие соображения.

Теория Большого Взрыва: Вселенная началась примерно 18 млрд. лет назад с колоссального взрыва. В будущем, когда

весь первичный водород будет использован на образование и эволюцию звезд, она станет холодной и черной.

Теория пульсирующей Вселенной: наша современная Вселенная возникла в результате Большого Взрыва примерно 18 млрд. лет назад и сейчас все еще продолжает расширяться. В будущем расширение сменится сжатием, которое уничтожит Вселенную. Однако произойдет новый взрыв, и из того же самого вещества возродится новая Вселенная.

Теория стационарной Вселенной: Вселенная не имеет ни начала, ни конца. Она всегда пребывает в одном и том же состоянии. Постоянно образуется новый водород, чтобы возместить вещество, уносимое удаляющимися галактиками, поэтому Вселенная всегда остается одинаковой.

10. Чтобы проверить космологическую модель, астрономы устанавливают, согласуется ли она с известными наблюдательными данными о Вселенной.

Модель стационарной Вселенной ясно говорит об отсутствии каких-либо изменений, в то время как модели Большого Взрыва и пульсирующей Вселенной, называемые *эволюционными моделями*, определенно утверждают, что она изменяется.

Лучшим способом проверки существования или отсутствия эволюции Вселенной является сравнение ее теперешнего состояния с тем, как она выглядела миллиарды лет назад. Однако мы не имели возможности проводить наблюдения миллиарды лет назад; вместо этого астрономы наблюдают галактики, удаленные от нас на разные расстояния.

Хотя сама идея — как бы смотреть в прошлое, изучая современные фотографии удаленных галактик, — проста, осуществить ее на практике очень трудно. С сегодняшняя техника развита еще не настолько, чтобы можно было проводить детальное фотографирование очень удаленных объектов. Поэтому все данные, используемые для проверки космологических моделей, грешат неточностями. Пока еще не существует совершенно точных данных, чтобы определить, какая из моделей является правильной.

Как астрономы могут установить состояние Вселенной:

(a) 2 млн. лет назад?

(b) 3 млрд. лет назад?

Они могут исследовать фотографии галактик, таких, как (a) галактика в созвездии Андромеды, которая находится на расстоянии 2 млн. св. лет от Земли, и (b) галактика в созвездии Гидры, которая удалена примерно на 3 млрд. св. лет. Напомним, что свету нужен один год, чтобы пройти расстояние в 10 триллионов километров. Поступающий на наши фотографические пластинки свет, покинул галактику в созвездии Андромеды 2 млн. лет назад, а галактику в созвездии Гидры — 3 млрд. лет назад;

сейчас он нам рассказывает о том, как тогда выглядела Вселенная.

11. Астрономы используют описанный выше метод для сравнения современного значения постоянной Хаббла с тем, которое она имела миллиарды лет назад.

Согласно стационарной теории, Вселенная всегда расширялась с постоянной скоростью. По теории Большого Взрыва сейчас, по прошествии большого промежутка времени после первоначального взрыва, происходит замедление расширения Вселенной. Теория пульсирующей Вселенной утверждает, что это замедление идет с такой скоростью, что в конце концов расширение прекратится.

Если со временем галактики замедляют свое движение, как это следует из эволюционных теорий, то сейчас постоянная Хаббла должна быть меньше, чем миллиарды лет назад. В теории пульсирующей Вселенной постоянная Хаббла уменьшается быстрее, чем в теории Большого Взрыва. В теории стационарной Вселенной она вообще не изменяется.

Над этой проблемой несколько лет работал Алан Сэндидж на обсерватории Маунт Паломар. Он сообщил, что постоянная Хаббла уменьшается, а это означает, что расширение Вселенной замедляется. Однако еще никто не может измерить с высокой точностью расстояние до далеких галактик, и его результаты слишком неопределенны, чтобы быть бесспорными.

Почему так важно уточнить значение постоянной Хаббла?

Потому что точно измеренное значение постоянной Хаббла будет решающим доказательством для выбора одной из космологических моделей.

12. Эволюционные теории предсказывают, что Вселенная все еще должна быть наполнена *реликтовым космологическим радиоизлучением* — слабым остатком излучения, сохранившегося от Большого Взрыва. Первичное ядро, как взорвавшаяся атомная бомба, по всем направлениям излучало мощные потоки коротких волн (соответствующих температуре примерно 10 млн. К). Со временем это излучение должно было рассеяться, остыть и равномерно заполнить всю расширяющуюся Вселенную. В настоящее время оно приходило бы на Землю в виде микроволн (коротких радиоволн), соответствующих температуре всего лишь в несколько кельвинов.

Подобный микроволновый фон, излучаемый источником с температурой примерно 2,7 К и одинаково приходящий со всех направлений, был зафиксирован в 1965 г. Таким образом, астрономы зарегистрировали излучение, возникшее в результате Большого Взрыва.

Что означает открытие реликтового излучения для теории стационарной Вселенной?

Это открытие заставило серьезно усомниться в правильности модели стационарной Вселенной. Теперь она должна найти способ объяснить существование этого излучения, в противном случае эту модель придется считать неверной.

13. Наблюдение квазаров и определение плотности вещества во Вселенной дают дополнительные важные ключи для выбора космологической модели.

Согласно модели пульсирующей Вселенной, для того чтобы силы гравитации остановили расширение, *средняя плотность вещества* во Вселенной должна составлять $5 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Наблюдаемая сегодня плотность вещества галактик по всей Вселенной не достигает и половины этого значения. В течение последних десятилетий некоторые астрономы проводили исследование так называемой *скрытой массы*. В состав этой невидимой материи могли бы входить нейтрино, черные дыры, еще не светящиеся звезды и некоторые другие типы космических объектов.

Если квазары на самом деле так далеки, как это следует из их красного смещения, то в прошлом их существовало намного больше, чем теперь. Если же некоторые события, имевшие место на ранних этапах существования Вселенной, сейчас происходят очень редко, то оказывается неверным совершенный космологический принцип, а вместе с ним и модель стационарной Вселенной.

Что важного, с точки зрения космологии, дали бы новые открытия пока невидимой массы и энергии во Вселенной?

В этом случае плотность вещества во Вселенной оказалась бы выше современного вычисленного значения. Как предсказано пульсирующей моделью, это может оказаться достаточным, чтобы остановить расширение Вселенной.

14. Оценка *возраста Вселенной* все время имела тенденцию увеличиваться от библейских нескольких тысяч лет до миллионов, а затем и миллиардов лет. Недавняя работа Дэвида Шрамма из Чикагского университета дает значение возраста Вселенной в 20 млрд. лет. Эта оценка основана на радиометрическом методе определения возраста с использованием рения-187. Работа включала расчет количества радиоактивного рения, распавшегося с тех пор, как этот элемент впервые образовался на ранней стадии существования нашей Вселенной.

Другие оценки возраста Вселенной базируются на значении постоянной Хаббла. *Время Хаббла*, являющееся возрастом Вселенной от момента Большого Взрыва, равно $\frac{1}{H}$. Вычисленный возраст сильно зависит от значения постоянной Хаббла, которая все еще не точна, с учетом некоторых поправок на замедление расширения Вселенной в прошлом. Этот метод дает значение возраста Вселенной от 10 до 20 млрд. лет.

Укажите три метода вычисления возраста Вселенной.

- 1. Радиоктивный метод (рений-187).
- 2. Измерение постоянной Хаббла и времени Хаббла $1/H$.
- 3. Метод, основанный на определении возраста самых старых звезд.

15. Значение радиуса Вселенной также очень сильно зависит от постоянной Хаббла.

Расстояние Хаббла — расстояние до границы наблюдаемой Вселенной — равно скорости света, поделенной на постоянную Хаббла $\frac{c}{H}$. Эти вычисления дают значение радиуса Вселенной от 12 до 16 млрд. св. лет.

На извечный вопрос человечества — как этот мир начался и кончится ли он? — сегодняшняя наука точно ответить не может. Освежите в памяти диапазон значений параметров, характеризующих настоящую Вселенную, заполнив следующую таблицу:

Наблюдаемая Вселенная

(a) Скорость разлетания далеких галактик (постоянная Хаббла)
(b) Примерный радиус
(c) Примерный возраст

(a) Примерно 17,5 км/с на миллион св. лет, или 57 км/(с • Мпк) (приближенное значение). Как сейчас считают, скорость разбегания галактик лежит в пределах от 45 до 120 км/(с • Мпк).

(b) От 12 до 16 млрд. св. лет.

(c) Примерно от 10 до 20 млрд. лет.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал шестой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

- 1. Дайте определение космологии.
- 2. Что отличает космологические модели от религиозного объяснения Вселенной?
- 3. Приведите доказательство того, что Вселенная расширяется.



Рис. 6.7. Расстояние Хаббла.

4. Подберите одну (или больше) из трех космологических моделей к каждому из положений.

(a) Примерно 18 млрд. лет назад Вселенная образовалась в результате взрыва плотного горячего сгустка материи.

(b) В пространстве между галактиками непрерывно создается новое вещество.

(c) Галактики удаляются друг от друга со скоростями, которые увеличиваются с расстоянием.

(d) В большом масштабе и во все времена Вселенная повсюду одинакова.

(e) Вселенная проходит бесконечную цепь расширений и сжатий.

(f) В настоящее время скорость расширения Вселенной уменьшается.

1. Теория Большого Взрыва

2. Теория пульсирующей Вселенной

3. Теория стационарной Вселенной

5. В чем состоит закон Хаббла?

6. Почему постоянная Хаббла имеет большое значение для космологии?

7. Какие (по крайней мере два) основные наблюдательные факты могут помочь сделать выбор между Большим Взрывом, теорией стационарной Вселенной и пульсирующей Вселенной?

8. Каков приблизительно (a) возраст Вселенной по Хабблу? (b) Радиус Хаббла?

9. Какой тип космологической модели — эволюционный или стационарный — предпочтительнее на основе современных наблюдательных данных?

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Космология — научная дисциплина, которая рассматривает вопросы происхождения, современной структуры, эволюции и последующих стадий существования нашей Вселенной (раздел 1).

2. Космологические модели объясняют физические явления не сверхъестественными причинами, а только используя законы природы (раздел 1).

3. Свет от далеких галактик смещается к красному концу спектра — явление, называемое красным смещением. Чем дальше галактики, тем больше их красное смещение. Самые далекие галактики, которые мы можем наблюдать, имеют наибольшее красное смещение, что свидетельствует об одинаковом удалении галактик от нас и друг от друга (раздел 2).

4. (a) 1 и 2; (b) 3; (c) 1, 2 и 3; (d) 3; (e) 2; (f) 1 и 2 (разделы 2, 5, 7, 8, 11).

5. Закон Хаббла (1929 г.) гласит, что скорость удаления галактики v прямо пропорциональна ее расстоянию от нас x . Алгебраически закон Хаббла может быть записан в виде:

$$v = Hx,$$

где H — постоянная Хаббла (раздел 4).

6. Постоянная Хаббла очень важна, так как она задает скорость расширения Вселенной. Это основа для оценки размера и возраста Вселенной (разделы 4, 14, 15).

7. Любые два из нижеследующих:

- (a) Характер изменения постоянной Хаббла со временем.
- (b) Реликтовое излучение.
- (c) Средняя плотность вещества во Вселенной.
- (d) Расстояние до квазаров (разделы 11, 12, 13).

8. (a) от 10 до 20 млрд. лет.

(b) От 12 до 16 млрд. св. лет (разделы 14, 15).

9. Эволюционная модель (разделы 11, 12, 13).

СОЛНЦЕ

Прекрасно светишь ты на небосводе,
О Атон, живущий, начавший жизнь.

Эхнатон. «Гимн Солнцу»

✓ 1. Солнце — самая близкая к Земле звезда. Оно дает необходимые для жизни свет, тепло и энергию.

Древние люди поклонялись Солнцу как божеству, дарующему жизнь. Вот некоторые из имен бога Солнца: Атон, Гелиос и Сол. Сегодня Солнце изучается астрономами. Его особенности имеют огромное значение для Земли и служат ключом для понимания особенностей далеких звезд, которые нельзя наблюдать столь же детально.

Общий расход солнечной энергии огромен (светимость Солнца составляет $3,83 \cdot 10^{26}$ Вт). Солнечная энергия практически неистощима. Количество солнечной энергии, которое каждую секунду попадает на единичную поверхность верхней границы земной атмосферы, называется *солнечной постоянной* и составляет $1,35$ кВт/м². Эта энергия обеспечивает примерно такое количество тепла и света в неделю, как и все имеющиеся запасы угля, нефти и природного газа.

Наше Солнце — пылающий огненный шар. Оно то чрезвычайно активно, то относительно спокойно. Изменение потока солнечной энергии оказывает влияние на атмосферу Земли, на земной климат и погоду, а также на современные энергопередающие коммуникации и системы связи. Эти изменения — ключ к лучшему пониманию влияния Солнца на Землю.

✓ Укажите три аргумента, в связи с которыми современные астрономы, физики и инженеры выделяют самую совершенную аппаратуру для изучения природы Солнца.

(1) Солнце — практически неистощимый источник энергии как сегодня, так и в обозримом будущем (кроме того, его энергия бесплатная и не загрязняет атмосферу).

(2) Солнце — единственная звезда, расположенная настолько близко, что ее можно детально наблюдать, поэтому астрономы используют опыт изучения Солнца для исследования других звезд.

(3) Изменение потока солнечной энергии влияет на земную атмосферу, климат и погоду, а также на энергопередающие коммуникации и системы связи.

2. Среднее расстояние между Землей и Солнцем, называемое астрономической единицей (а. е.), составляет примерно 150 млн. км (точное значение 149 597 870 км). Астрономы используют астрономическую единицу для измерения расстояний в Солнечной системе.

Солнце — огромный газовый шар с радиусом около 696 000 км. На небе оно выглядит примерно таким же, как полная Луна с угловым диаметром в 32' (около 1/2°), так как расположено намного дальше от Земли, чем Луна.

Предостережение: никогда нельзя смотреть на Солнце через бинокляр или телескоп. Вы можете лишиться зрения. Самый безопасный способ наблюдения Солнца — это проецирование его изображения на белое полотно или бумагу, прикрепленные позади окуляра. Более четко детали могут наблюдаться с помощью специальных высококачественных солнечных фильтров (доступных любителям), которые пропускают столько света, чтобы создать четкое изображение Солнца.

Сколько примерно минут нужно солнечному свету, чтобы пройти расстояние в 1 а. е.? Указание. Расстояние = скорость × время. Следовательно, время = $\frac{\text{расстояние}}{\text{скорость}}$.

Около $8\frac{1}{3}$ мин.

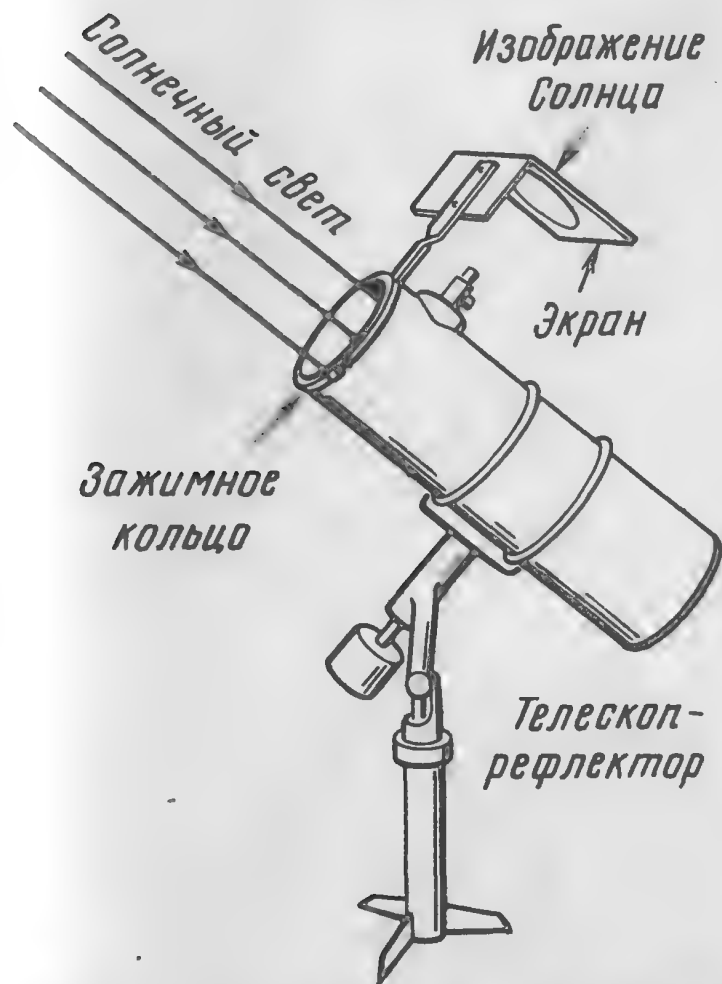


Рис. 7.1. Построение изображения Солнца.



Рис. 7.2. Построение изображения Солнца.

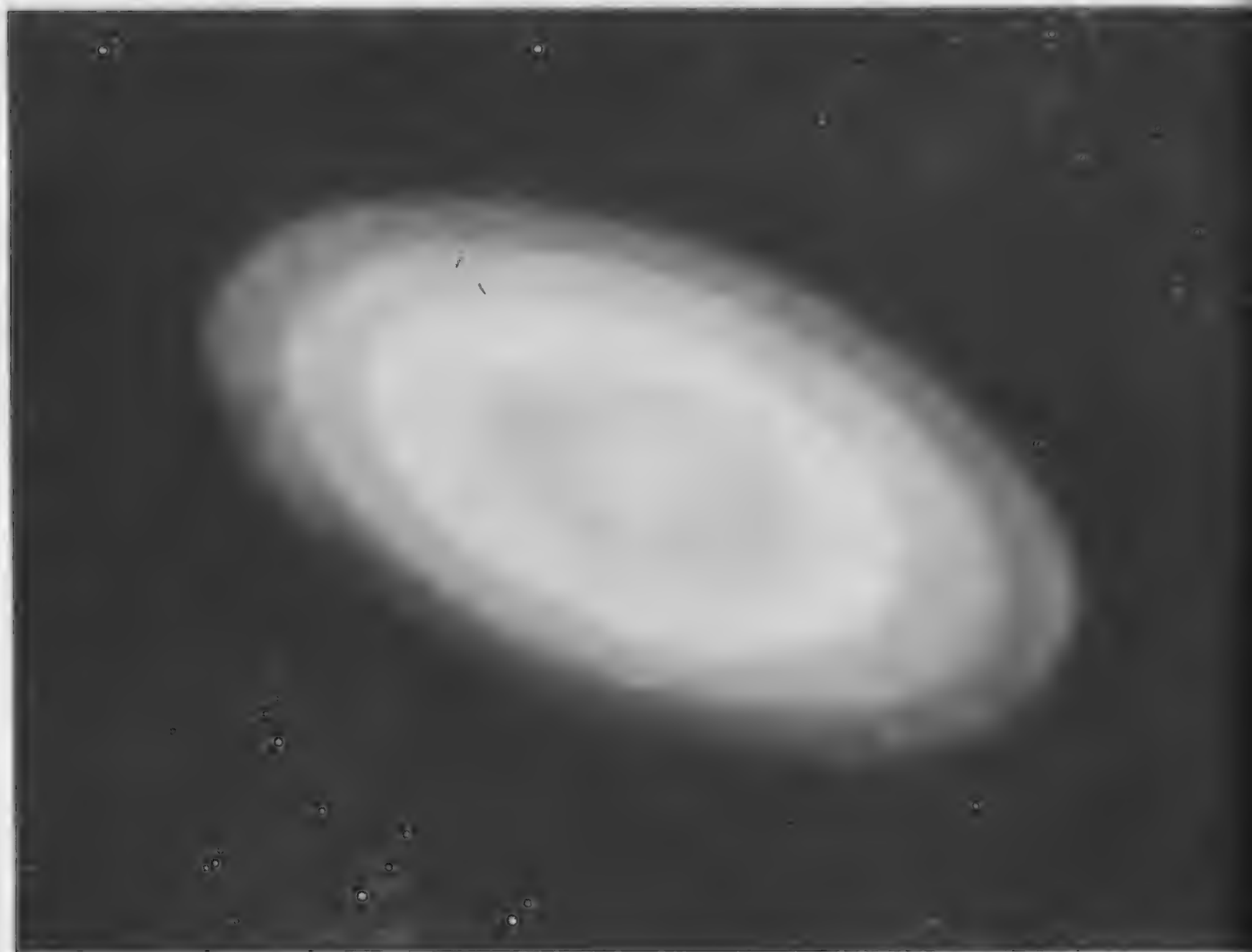
Решение. Скорость света примерно равна 300 000 км/с; 1 а. е. = 150 000 000 км; $\frac{150\,000\,000}{300\,000} = 500$ с, или $8\frac{1}{3}$ мин. (Это означает, что если бы вдруг Солнце перестало светить, то вы бы узнали об этом только спустя $8\frac{1}{3}$ мин.)

3. В главе четвертой вы узнали о *жизненном цикле* звезд типа нашего Солнца (если необходимо, посмотрите еще раз раздел 4.13). *Конденсационная теория* происхождения Солнечной системы рассматривает совместное образование нашего Солнца и его планетной семьи из вращающегося газопылевого облака около 5 млрд. лет назад.

Большая часть этого облака сконденсировалась в Солнце. На Солнце приходится больше 99% массы всей Солнечной системы ($M_{\odot} = 1,989 \times 10^{33}$ г), что обеспечивает силу тяготения, удерживающую планеты на орбитах.

В солнечном спектре было найдено более шестидесяти химических элементов. Предполагается, что внешние слои Солнца имеют тот же химический состав, что и в момент его образования: около 71% водорода, 27% гелия и 2% других элементов по массе. За 4,5 млрд. лет в солнечном ядре в результате реакций

Рис. 7.3. Модель сжимающейся туманности.



ядерного синтеза произошли изменения, и гелий здесь составляет 38%.

Почему астрономы надеются найти другие звезды, вокруг которых вращаются планеты?

Конденсационная теория полагает, что планеты, обращающиеся вокруг Солнца, образовались вместе с ним. Так как Солнце — типичная звезда, то представляется вероятным, что похожие на Солнце звезды также образовались вместе с планетными системами.

4. Наши представления о строении Солнца получены в результате прямых наблюдений его внешних слоев и косвенных теоретических расчетов, основанных на знании законов поведения газов глубоко в недрах звезды, куда заглянуть мы не можем.

Солнечное ядро представляет собой атомную электростанцию, где солнечная энергия генерируется в реакциях ядерного синтеза (раздел 4.5). Непосредственно под самыми внешними слоями находится область, называемая *зоной конвекции*, в которой циркулирующие потоки газа переносят теплоту от горячих недр наружу.

Фотосфера — это внешняя область Солнца, которую мы видим. Фотосфера — это горячий, разреженный газовый слой, разогретый до температуры примерно 5800 К, из которого в космос излучается энергия. Лимб — это видимый край солнечного диска. Он выглядит темнее, чем центр.

Эффект, называемый *потемнением лимба*, возникает из-за того, что свет от лимба приходит от более высоких и холодных участков фотосферы.

Хромосфера — это самая внутренняя часть солнечной атмосферы. Она простирается на несколько тысяч километров над фотосферой и становится видимой с Земли только во время полного солнечного затмения, когда светит красным светом благодаря наличию там водорода. Хромосфера содержит и другие элементы, включая гелий и кальций.

Корона — это внешняя атмосфера Солнца, расположенная над хромосферой. Она содержит разреженный горячий (1—2 млн. К) газ, который простирается на миллионы километров от Солнца. Корона становится прекрасно видимой во время полного солнечного затмения, когда намного более яркая фотосфера ненадолго закрывается Луной (рис. 7.5).

Назовите солнечные слои, обозначенные буквами на рисунке 7.6.

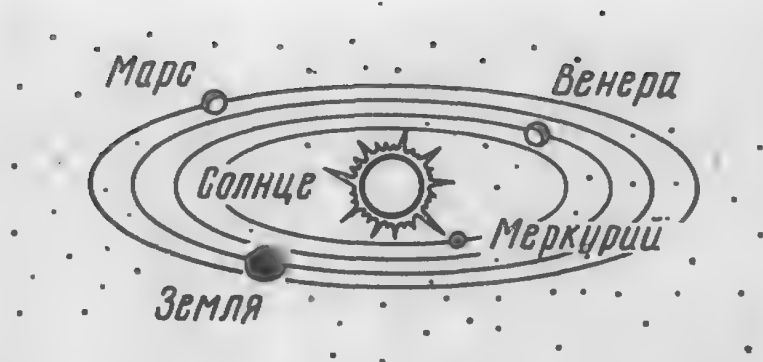


Рис. 7.4. Конденсация вещества туманности привела к образованию около Солнца планетной системы.



Рис. 7.5. Во время полного затмения Солнца становится отчетливо видна солнечная корона.

(а) корона; (b) хромосфера; (с) фотосфера; (d) зона конвекции; (е) ядро.

5. Солнце, подобно Земле, вращается вокруг своей оси с запада на восток. При этом, если все участки Земли совершают полный оборот за сутки, все Солнце не поворачивается как целое за одно и то же время.

Период вращения, или продолжительность одного оборота Солнца вокруг своей оси, меньше всего на солнечном экваторе (около 25 сут), больше на средних широтах и самый продолжительный на солнечных полюсах (около 35 дней). Причиной такого странного вращения являются, возможно, мощные процессы, происходящие на Солнце; они описаны в последующих разделах.

Почему разные участки Солнца могут вращаться с разными скоростями, в то время как все точки поверхности Земли совершают полный оборот за сутки?

Солнце — газовый шар, а Земля — твердое тело.

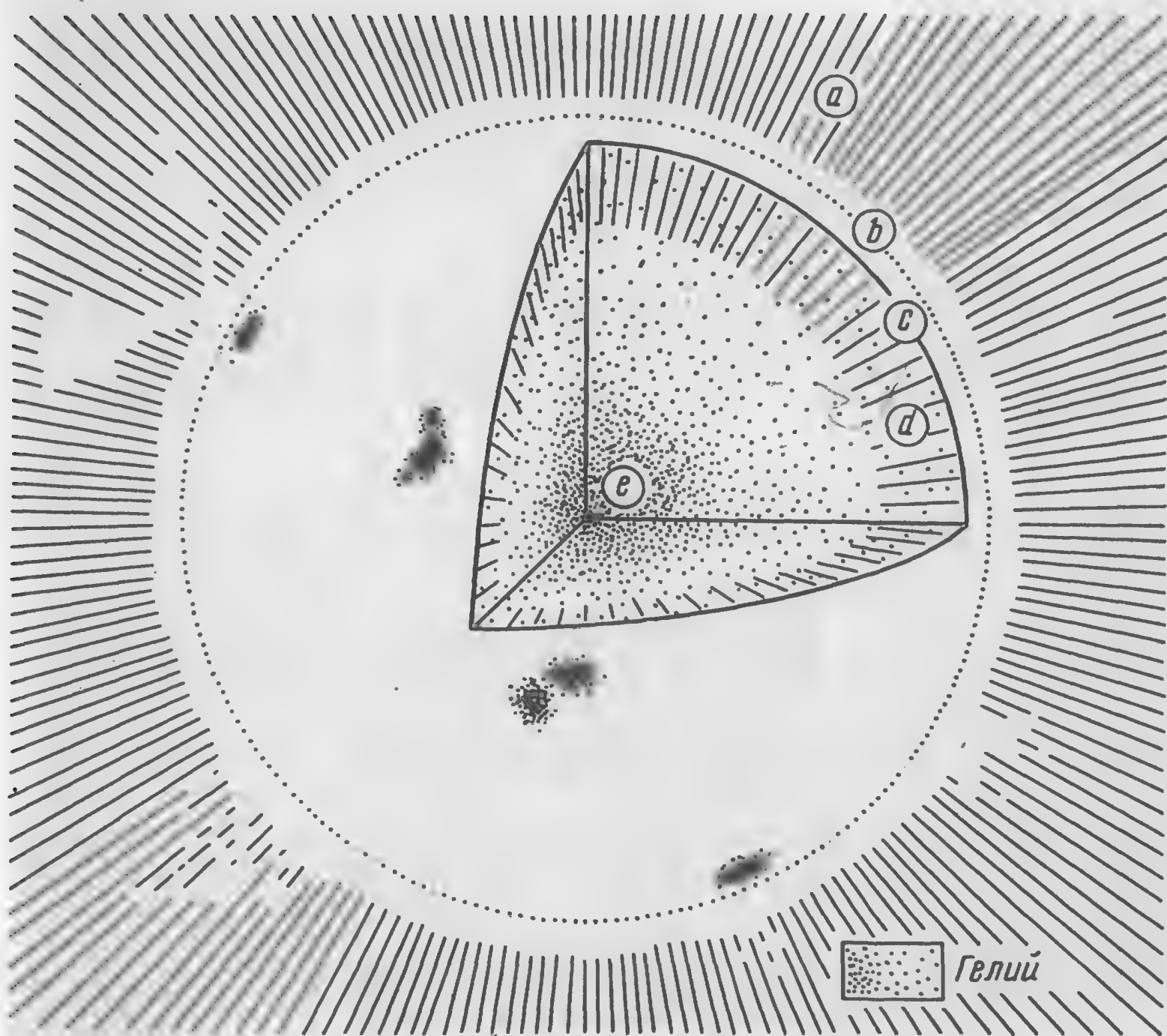


Рис. 7.6. Строение Солнца.

6. Обобщите приобретенные вами знания о Солнце, заполнив для себя следующую таблицу.

Таблица 7. 1. Основные характеристики Солнца

Параметры	Величина
(a) Среднее расстояние от Земли (b) Угловой диаметр на небе (c) Радиус (d) Масса (e) Солнечная постоянная (количество солнечной энергии, падающей на Землю) (f) Светимость (g) Температура видимого внешнего слоя (h) Спектральный класс (см. рис. 3.16) (i) Видимая звездная величина (см. табл. 3. 3) (j) Период вращения (k) Химический состав внешних слоев	

(a) около 150 млн. км (149 597 870 км); (b) 32'; (c) 696 000 км; (d) $1,989 \times 10^{33}$ г; (e) 1,35 кВт/м²; (f) $3,83 \times 10^{26}$ Вт; (g) около 5800 К; (h) G2; (i) —26,7; (j) экватор, около 25 сут; полюса, около 35 сут; (k) внешние слои: около 71% водорода, 27% гелия, 2% приходится на более чем 60 других химических элементов.

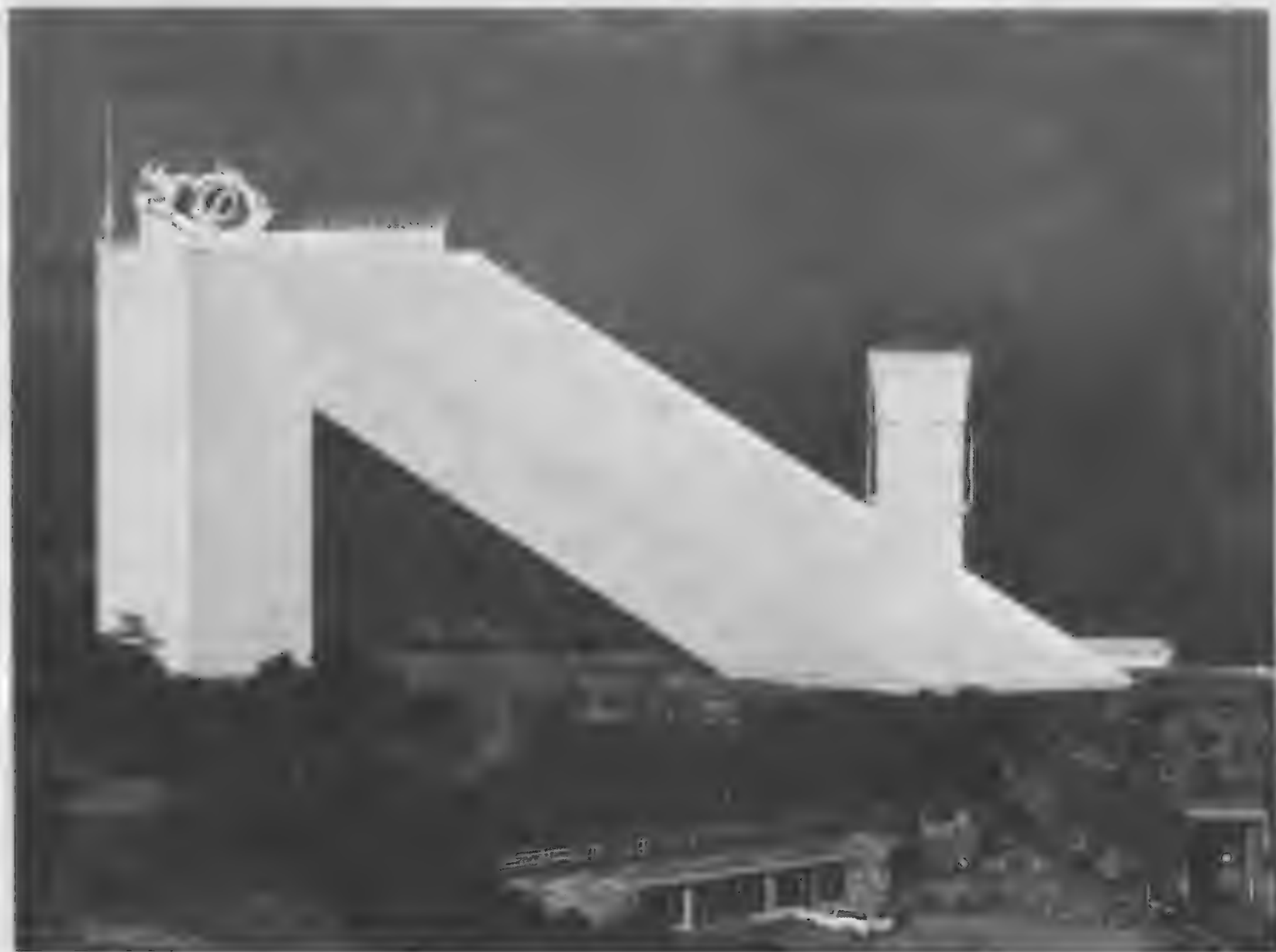
7. Астрономы используют наиболее совершенные приборы и методы для наблюдения Солнца и делают это сегодня более детально, чем когда-либо прежде. В последнее время они собрали больше данных о Солнце, чем за всю историю его изучения.

На Земле специальные *оптические солнечные телескопы* фотографируют видимую поверхность Солнца, где происходят различные изменения. Антенны гигантских *радиотелескопов* принимают и записывают радиоволны от различных участков Солнца.

Инфракрасные телескопы наблюдают солнечный лимб и солнечные пятна.

Над земной атмосферой *ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-телескопы*, установленные на космических аппаратах, регистрируют изображения процессов, происходящих на Солнце в самых горячих и наиболее активных областях.

Рис. 7.7. 1,5-метровый солнечный телескоп обсерватории Китт Пик. Специальное зеркало, установленное наверху, отражает солнечный свет вдоль наклонной трубы.



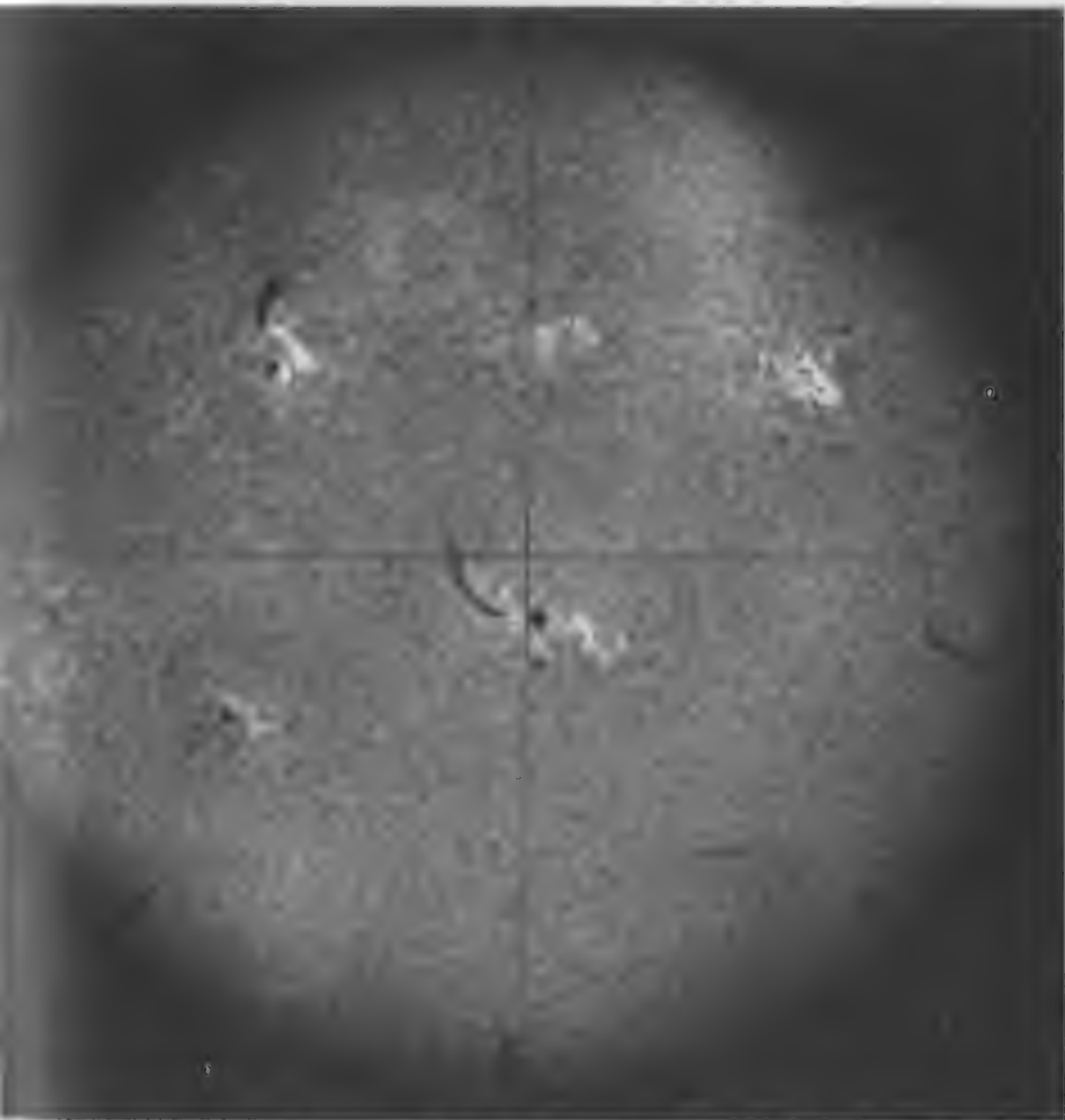


Рис. 7.8. Фотография Солнца в лучах спектральной линии водорода ($6563 \text{ \AA}$), полученная с борта орбитальной станции «Скайлэб».

Раньше солнечную хромосферу и корону могли непосредственно наблюдать только в течение коротких минут полного солнечного затмения, когда закрыта намного более яркая фотосфера (раздел 4). Теперь астрономам не приходится ждать этого редкого природного явления. Специальные светофильтры и *спектрогелиографы* строят изображение Солнца в свете одной выбранной длины волны. *Спектрогелиограммы* — это фотографии Солнца в одном цвете, принадлежащем одному газу, такому, например, как водород или кальций. Они выявляют распределение различных газов и локальных явлений.

Коронографы — это телескопы, сконструированные для созда-

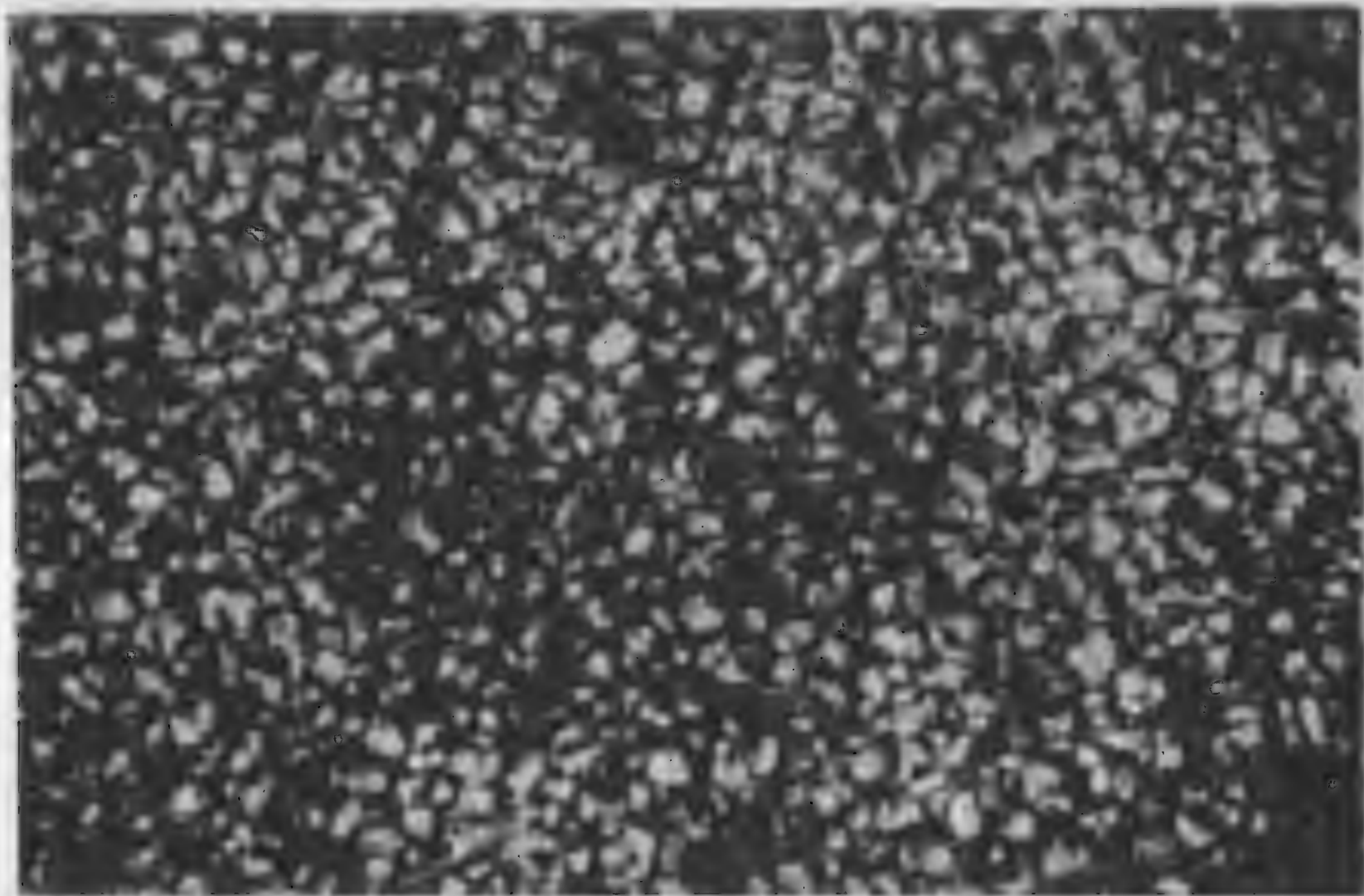
ния искусственных затмений; они используются для фотографирования короны. В 1973—1974 гг. во время полета орбитальной станции «Скайлэб», которая летала на высоте 400 км от Земли, на борту была установлена целая «батарея» из восьми солнечных телескопов, и астронавты наблюдали Солнце. Коронграф «Скайлэба» позволил проводить наблюдения короны 8,5 месяца в то время как наблюдения короны в течение всех естественных солнечных затмений, начиная с момента использования фотографии в 1839 г., составило всего около 80 ч.

Самое интенсивное изучение сильнейших солнечных вспышек было предпринято в течение Международного *Года солнечного максимума* в 1980/81 г. Сотни ученых, инженеров и исследователей Солнца из 18 стран, используя новейшие телескопы, высокочувствительные инструменты и космические аппараты, наблюдали Солнце. Важные данные, полученные в видимых, ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-лучах, обещают послужить основой для нового взгляда на сложную природу нашего Солнца.

Почему на фотографиях, сделанных в лучах разных длин волн, таких, как видимый свет, ультрафиолетовые или рентгеновские лучи, проявляются различные особенности Солнца? **У к а з а н и е.** Посмотрите, если необходимо, раздел 2.10.

Волны различной длины излучаются из областей Солнца с разными температурами, где происходят вследствие этого различные процессы.

Рис. 7.9. Солнечные гранулы.



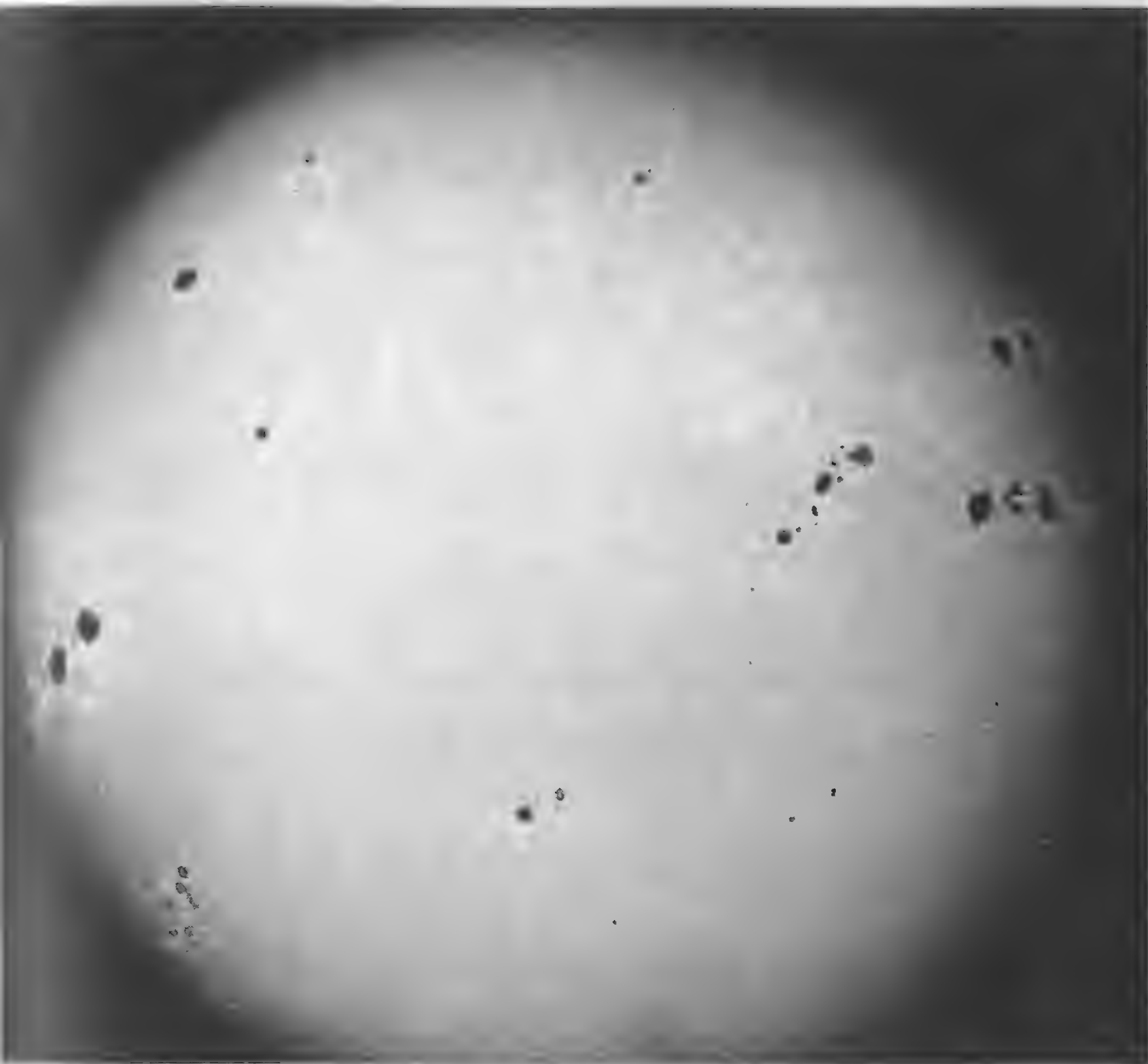


Рис. 7.10. Солнечные пятна.

8. Наблюдения в оптический телескоп показывают, что фотосфера имеет зернистый вид, такая структура называется *грануляцией*. Светлые пятна, похожие на рисовые зерна, называются *гранулами*. Гранулы покрывают треть солнечного диска.

Гранулы имеют в поперечнике около 1000 км и примерно на 300 К горячее, чем окружающие темные области. Каждая гранула «живет» в среднем около 5 мин. Гранулы представляют собой вершины восходящих потоков газов из внутренних областей Солнца, которые становятся видимыми на уровне фотосферы.

Гранулы входят в состав *супергранул*, ячеек около 15 000—20 000 км в поперечнике. В супергранулах помимо вертикальных течений (как в гранулах) существует поток газов из центра к краям. Яркие белые пятна, называемые *факелами*, можно увидеть около солнечного лимба.

Что является причиной грануляции?

Газы, поднимающиеся из горячих внутренних областей Солнца.

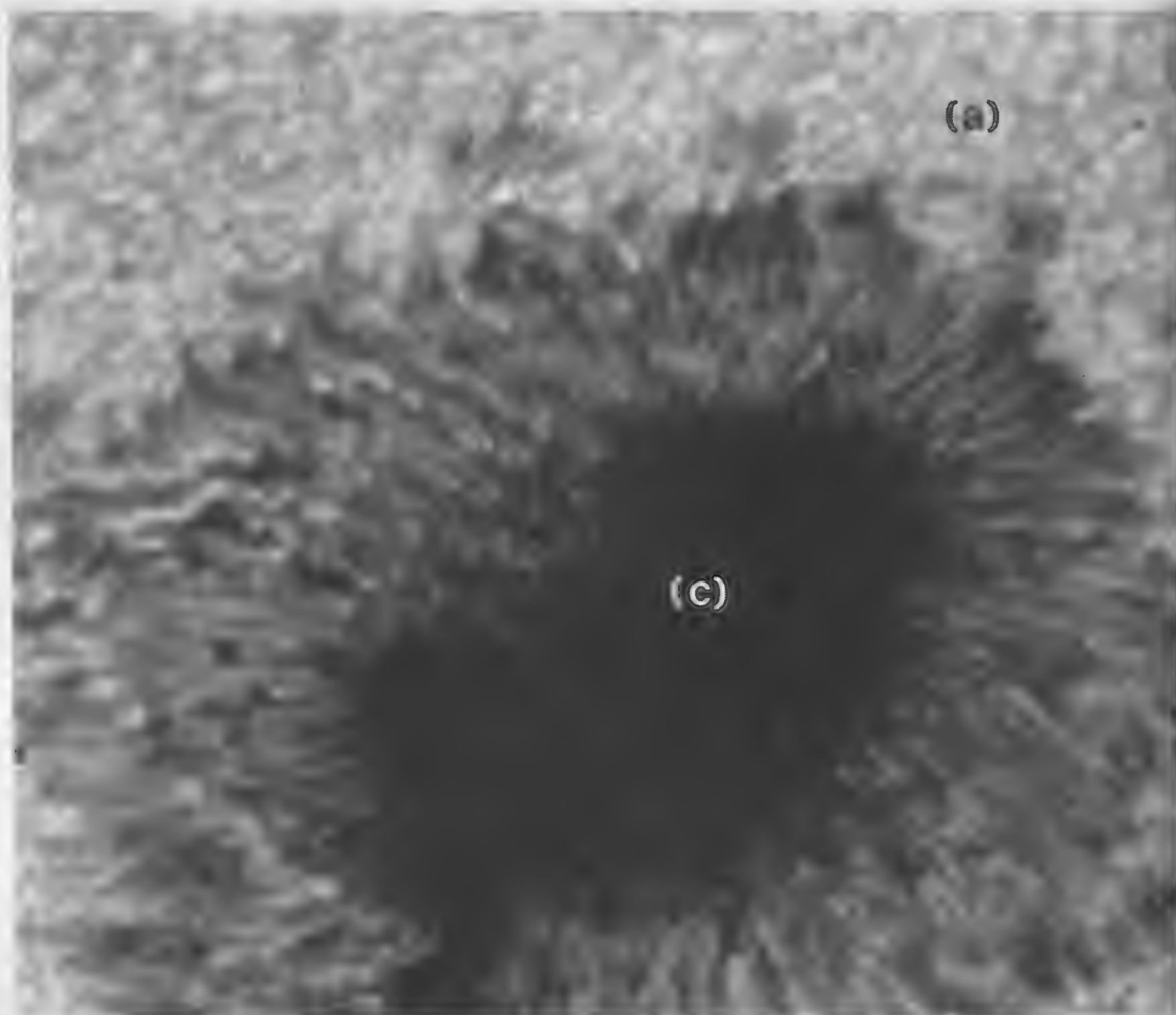
9. *Солнечные пятна* — темные, относительно холодные участки, которые появляются на яркой фотосфере Солнца. Обычно они возникают группами в два пятна или более. Отдельные солнечные пятна живут от нескольких часов до нескольких месяцев (рис. 7.10).

Самые большие солнечные пятна можно увидеть невооруженным глазом при восходе или при заходе Солнца либо сквозь туман. Наблюдения солнечных пятен были впервые отмечены в Китае еще до 800 г. до н. э.

Размер типичного солнечного пятна сопоставим с размером Земли. Самое большое солнечное пятно может быть крупнее Земли в 10 раз и более.

Хотя солнечные пятна относительно холодные участки Солнца, на самом деле они ярче и горячее многих звезд. Их темпера-

Рис. 7.11. Солнечное пятно с тенью и полутенью; фотосфера.



тура в области *тени* около 4200 К и 5700 К в области *полутени* — внешнем сером поясе, окружающем большое пятно. Они выглядят темными только в сравнении с еще более горячей и яркой фотосферой.

Найдите на рисунке 7.11 тень, полутень и фотосферу и укажите примерную температуру каждой области.

(a) фотосфера, 6000 К; (b) полутень, 5700 К; (c) тень, 4200 К.

10. В отдельные моменты времени на солнечном диске может появиться больше сотни солнечных пятен, но их может и не быть вовсе. Число солнечных пятен регулярно увеличивается и уменьшается. *Цикл солнечной активности* — это примерно 11-летний цикл изменения числа солнечных пятен.

Появление солнечных пятен регулярно наблюдается с Земли и служит индикатором солнечной активности. Наибольшая активность Солнца с максимальным излучением наблюдается в те годы, когда пятен больше. Наименьшая активность соответствует периодам минимума солнечных пятен. В 1980 г. в течение Года солнечного максимума наше светило исследовалось наиболее пристально по сравнению со всеми наблюдениями, выполненными со времен первых телескопических наблюдений Галилея (раздел 7.7).

Почему так важно следить за циклом солнечного пятнообразования?

Солнце наиболее активно в годы увеличения количества пятен, в этот период оно излучает в окружающее пространство наибольшее количество энергии.

11. Солнечные пятна напоминают гигантские *магниты*. Они являются районами мощного *магнитного поля*, где его напряженность в тысячи раз больше, чем напряженность земного магнитного поля.

Магнитное поле солнечного пятна может быть зарегистрировано еще до того, как станет видно само пятно, а также и после его исчезновения. По всей видимости, магнитные поля связаны с процессами, происходящими в отдельных областях на Солнце.

Магнитные поля создаются движением электрически заряженных частиц, которые входят в состав горячих солнечных газов. Ученые полагают, что наиболее мощные выбросы вещества и излучения на Солнце получают свою энергию от магнитных полей.

Более слабое магнитное поле распределяется по всему Солнцу. Оно имеет северный и южный полюса с магнитной осью, наклоненной на 15° к оси вращения Солнца, и делится на две полусферы. От северной полусферы магнитное поле Солнца простирается, по-видимому, через всю Солнечную систему до Плуто-

на (около 6 млрд. км). Около границ Солнечной системы оно искривляется и возвращается к южному полушарию Солнца.

По всей поверхности Солнца (кроме активных районов) напряженность магнитного поля примерно в 2 раза сильнее, чем средняя напряженность магнитного поля Земли. Это поле генерируется заряженными частицами, находящимися вокруг Солнца.

Наблюдения показали, что северный и южный полюса солнечного магнитного поля меняются местами примерно каждые 11 лет — время цикла солнечной активности. Нужно два цикла солнечной активности примерно в 11 лет каждый, чтобы магнитные полюса вернулись в первоначальное положение. Поэтому цикл пятнообразования иногда считается в 22 года, а не в 11 лет, как время одного цикла солнечной активности.

Что является наиболее вероятной причиной сильных выбросов материи, происходящих на Солнце?

Очень сильные магнитные поля в районах солнечных пятен.



Вы можете увидеть картину магнитного поля, расположив магнит под листом бумаги. Слегка посыпьте бумагу железными опилками. Опилки выстроятся по силовым линиям магнитного поля, показывая характер распределения магнитных сил.

Рис. 7.12. Несколько солнечных вспышек и большой протуберанец.

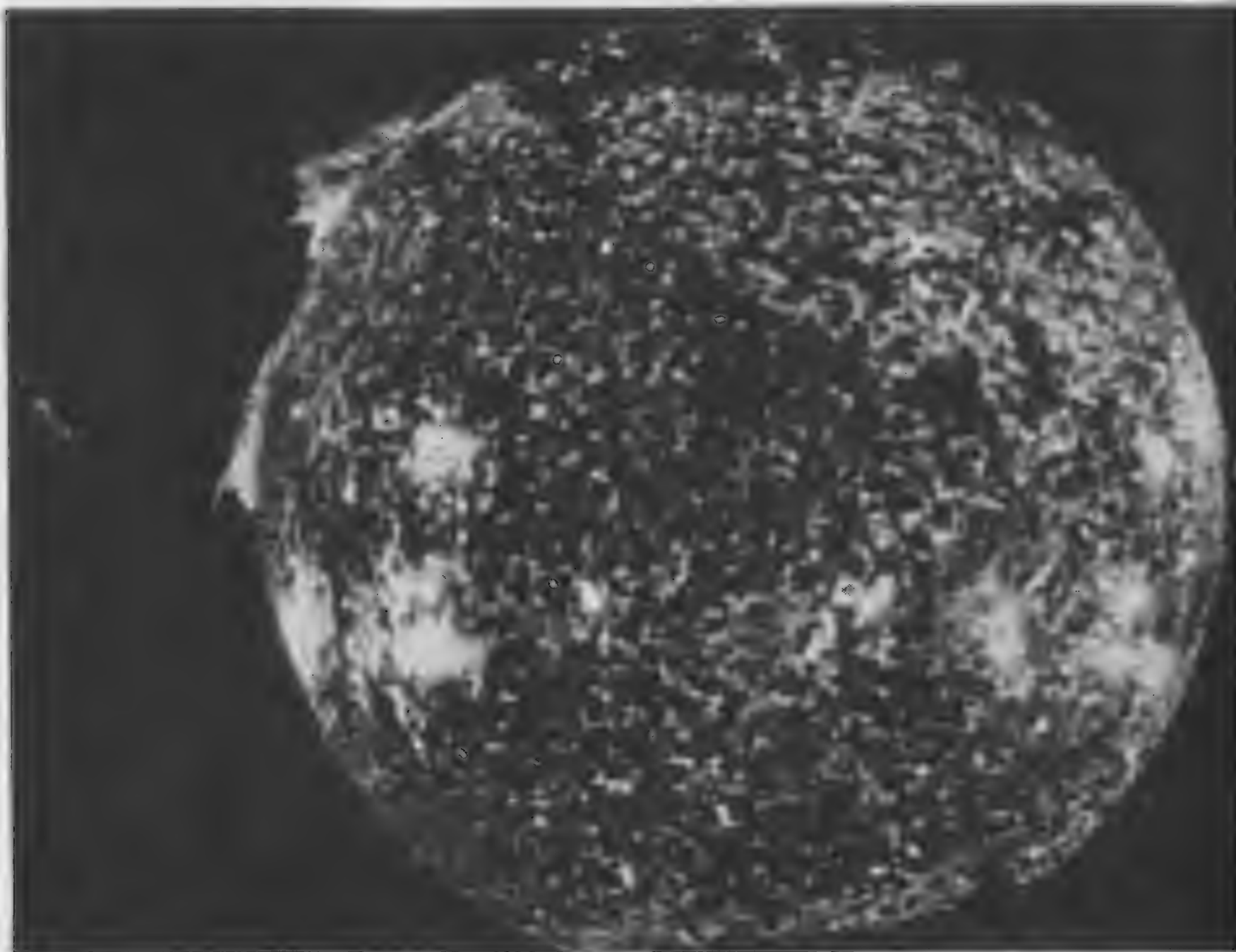




Рис. 7.13. Солнечная вспышка.

12. Яркие области солнечной активности, которые появляются на спектрогелиограммах (см. рис. 7.8), называются *флоккулами*. Они образуются в хромосфере и окружают солнечные пятна.

Протуберанцы — это огненные языки яркого газа, которые поднимаются на сотни тысяч километров над солнечным лимбом. Они состоят из относительно холодного ($10\,000\text{ K}$) плотного газа в более горячей ($10\,000\,000\text{ K}$) и более разреженной окружающей короне. Протуберанцы, видимо, образуются в области солнечных пятен.

Что, вероятнее всего, определяет движение газов в протуберанцах?

Сильные магнитные поля в окрестностях солнечных пятен (раздел 7.11).

13. Солнечная *вспышка* — это неожиданный гигантский взрывной выброс света и вещества из Солнца.

Жизнь вспышки коротка и продолжается в среднем около 20 мин. Вспышки происходят вблизи солнечных пятен и, по-видимому, получают свою энергию от сильных местных магнитных полей.



Рис. 7.14. Влияние солнечной вспышки на Землю и ее окружение.

Кроме видимого света, в процессе солнечных вспышек генерируются гамма-лучи, рентгеновские лучи, ультрафиолетовое излучение, радиоволны и частицы. Мощная вспышка может выбросить в Солнечную систему фантастическое количество излучения и частиц, которое сравнимо с взрывом миллиардов водородных бомб.

Излучение достигает Земли через несколько минут, частицы — через несколько дней. Если бы мы не были защищены магнитным полем и атмосферой Земли, то излучение и частицы, выброшенные вспышкой, уничтожили бы всю земную жизнь. Для космонавтов, находящихся в космосе, также должна быть предусмотрена защита.

Когда электрически заряженные солнечные частицы попадают в земную атмосферу, они могут привести атомы и ионы атмосферных газов в возбужденное состояние и заставить их излучать свет. Так возникают полярные сияния.

Северное сияние и *южное сияние* — это яркие полосы света, которые иногда появляются на ночном небе преимущественно в Арктике и Антарктике, но иногда могут наблюдаться и в средних широтах. Максимальная активность сияния проявляется на широте около 68° . Полярные сияния возникают спустя примерно двое суток после солнечной вспышки и достигают своего пика в среднем через два года после максимума солнечной активности.

Мощные солнечные вспышки посылают большие порции электрически заряженных частиц, которые взаимодействуют с магнитным полем Земли и нарушают его, вызывая магнитные бури, во время которых перестают нормально работать компасы.

Излучение и поток ионов создают атмосферные бури, помехи в линиях электропередач, прерывают радиосвязь.

Из-за того что солнечные вспышки так сильно влияют на земную среду, очень важно научиться предсказывать их появление. Над этим работают ученые разных стран, которые каждый день следят за магнитным полем и активностью Солнца.

Напишите, какие два эффекта связаны с влиянием мощных солнечных вспышек на современную земную технику.

(1) Нарушение радиосвязи; (2) нарушения, возникающие при передаче электроэнергии.

14. *Солнечный ветер* — это поток электрически заряженных частиц большой энергии, которые все время улетают из солнечной короны в направлении границ Солнечной системы.

Средняя скорость солнечного ветра в районе Земли больше 1 400 000 км/ч (400 км/с). Земная атмосфера и магнитное поле обычно защищают нас от губительного воздействия солнечного ветра.

Солнечный ветер регистрируется инструментами, установленными на космических аппаратах, которые летают над земной атмосферой. В космосе *температура солнечного ветра* составляет тысячи градусов, а его *скорость* — сотни тысяч километров в час. Эти значения изменяются вместе с солнечной активностью.

Во время солнечной вспышки происходит усиление солнечного ветра. Он наиболее силен в периоды, когда на Солнце видно много пятен и солнечная активность высока. Мощные выбросы солнечного ветра могут вызывать особенно яркие полярные сияния.

Солнечный ветер приходит, по-видимому, из районов солнечной короны, называемых *корональными дырами*, где газы холодные и намного более разрежены, чем в других местах. Корональные дыры не могут удержать потоки солнечного ветра и позволяют ему вырываться с высокими скоростями.

Что такое солнечный ветер?

Поток электрически заряженных частиц высокой энергии, которые вылетают из солнечной короны.

15. До последнего времени астрономы были уверены, будто они понимают, что заставляет Солнце светить. *Эксперимент с солнечными нейтрино* зародил некоторые сомнения.

Теоретически солнечная энергия излучается в результате превращения водорода в гелий в реакциях ядерного синтеза. *Солнечные нейтрино*, элементарные частицы, также получаемые в результате этих реакций, обладают важным свойством — они очень слабо взаимодействуют с веществом и свободно через него проходят.

Ученые не могут непосредственно заглянуть в солнечное ядро, чтобы проверить свою теорию. Вместо этого они ловят солнечные нейтрино. Если бы нейтрино были зарегистрированы в

количествах, предсказанных теорией, то это дало бы доказательство ее правильности.

Глубоко под землей в золоторудной шахте в Лиде (Южная Дакота, США) ученые построили нейтринную ловушку¹. Число нейтрино, зафиксированных в последнее десятилетие, было намного ниже предсказанного теорией. Чтобы решить эту загадку с *пропавшими нейтрино*, мы должны ожидать большего количества новых экспериментов и выводов.

Дайте два возможных объяснения для неожиданно малого количества солнечных нейтрино, зарегистрированных до настоящего времени.

(1) Эксперимент был проведен или интерпретирован не точно или не полностью.

(2) Теория, объясняющая источник солнечной энергии, не точна или не полна.

16. Напишите короткий текст, описывающий три явления, которые указывают на бурную активность Солнца, и назовите их возможную причину.

Ваш ответ должен кратко описать:

(1) Солнечные пятна, или темные относительно холодные области, время от времени появляющиеся в фотосфере Солнца.

(2) Протуберанцы, или относительно холодный, плотный газ, который поднимается как пламя и изгибается над солнечным лимбом в области более горячей и более разреженной короны.

(3) Вспышки, или неожиданные кратковременные всплески света, в хромосфере около солнечного пятна.

По всей видимости, солнечная активность вызывается и поддерживается очень сильными местными магнитными полями.

17. Солнце движется в пространстве так же, как и все остальные звезды.

По отношению к соседним звездам Солнце движется в направлении созвездия Геркулеса со скоростью 72 000 км/ч (20 км/с), увлекая с собой девять планет.

Так как Солнце вместе со своими планетами находится внутри нашей Галактики, оно обращается вокруг ее центра, в то время как сама Галактика вращается в пространстве. Это движение происходит со скоростью около 900 000 км/ч (250 км/с), как это описано в разделе 5.2.

Назовите два вида движения Солнца в нашей Галактике.

(1) В направлении созвездия Геркулеса; (2) вокруг центра Галактики.

¹ Аналогичные эксперименты выполняются также в Баксанской нейтринной обсерватории АН СССР.— Прим. ред.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал седьмой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Приведите три аргумента, в связи с которыми современные астрономы пристально изучают Солнце.

2. Подберите наиболее подходящий инструмент для следующих работ.

(а) Выявление процессов, происходящих в самых горячих активных областях Солнца.

(b) Фотографирование короны вне солнечного затмения.

(с) Фотографирование видимой поверхности Солнца.

(d) Фотографирование Солнца в спектральных линиях, соответствующих определенным элементам.

(е) Прием и регистрация солнечных радиоволн.

1. Корonoграф

2. Оптический солнечный телескоп

3. Радиотелескоп

4. Спектрогелиограф

5. Ультрафиолетовый, рентгеновский и гамма-телескопы

3. Дайте определение астрономической единицы (а. е.).

4. Сделайте рисунок Солнца и укажите корону, хромосферу, фотосферу, зону конвекции и ядро.

5. Укажите (а) радиус, (b) массу, (с) температуру видимой поверхности Солнца.

6. Укажите следующие солнечные явления.

(а) В фотосфере: яркая область, окружающая солнечное пятно, которая появляется на спектрогелиограмме.

(b) Светлые фотосферные пятна, которые выглядят как рисовые зерна.

(с) Темные, относительно холодные области на яркой фотосфере.

(d) Массы яркого газа, как пламя, поднимающиеся на сотни тысяч километров над лимбом.

(е) Огромные, короткоживущие, взрывные выбросы света и вещества.

1. Вспышка

2. Гранулы

3. Флоккул

4. Протуберанец

5. Солнечные пятна

7. Почему за циклом пятнообразования тщательно наблюдают с Земли?

8. Что такое солнечный ветер?

9. Укажите четыре явления, которые служат проявлением влияния солнечных вспышек и мощных выбросов солнечного ветра на земную среду.

10. (а) Что такое солнечная постоянная? (б) Почему так важно знать, постоянна ли она или изменяется со временем?

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильны, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднения в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках.

Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуйста, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. (1) Солнце — это бесплатный, незагрязняющий окружающую среду и почти неистощаемый источник энергии настоящего и будущего.

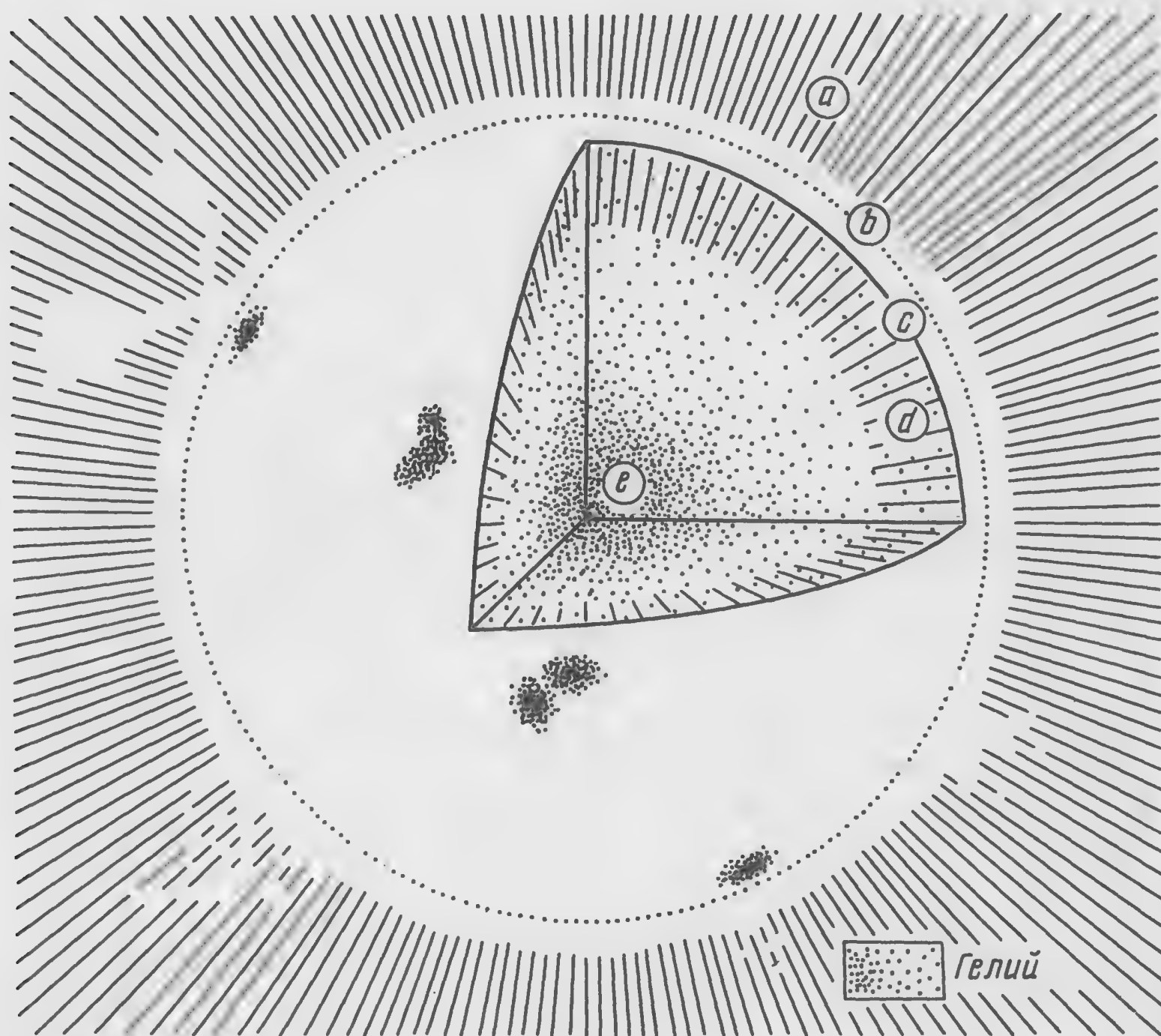


Рис. 7.15. Строение Солнца: а — корона; б — хромосфера; с — фотосфера; d — зона конвекции; е — ядро.

(2) Солнце — единственная звезда, расположенная достаточно близко, чтобы ее можно было наблюдать детально, так что астрономы пользуются этим для изучения других звезд.

(3) Изменения в выходе солнечной энергии влияют на атмосферу Земли, климат и погоду, а также на энергопередающие коммуникации и системы связи (разделы 1, 13).

2. (a) 5; (b) 1; (c) 2; (d) 4; (e) 3 (раздел 7).

3. Астрономическая единица (а. е.) — среднее расстояние между Землей и Солнцем, примерно равно 150 млн. км (точное значение 149 597 870 км) (раздел 2).

4. Раздел 4 (см. рис. 7.15).

5. (a) 696 000 км; (b) около $2 \cdot 10^{33}$ г ($1,989 \cdot 10^{33}$ г); (c) около 5800 К (разделы 2, 3, 4, 6).

6. (a) 3; (b) 2; (c) 5; (d) 4; (e) 1 (разделы 8, 9, 12, 13).

7. Тщательные наземные наблюдения цикла пятнообразования связаны с тем, что он является индикатором солнечной активности. Солнце наиболее активно и излучает наибольшее количество энергии в те годы, когда на нем больше всего пятен. Наименьшая активность — в годы минимума пятен (разделы 10, 13, 14).

8. Поток электрически заряженных частиц высокой энергии, которые вылетают из солнечной короны (раздел 14).

9. (1) Увеличение количества опасного излучения; (2) полярные сияния; (3) магнитные бури; (4) атмосферные бури (разделы 13, 14).

10. (a) Количество солнечной энергии, которое каждую секунду приходит к Земле (на границе земной атмосферы); ее значение $1,35 \text{ кВт/м}^2$.

(b) Изменение солнечной постоянной может привести к сильным изменениям атмосферы и климата Земли (разделы 1, 13).

ВЗГЛЯД НА СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ

Наконец, само Солнце будем считать занимающим центр мира.

Николай Коперник.
«О вращениях небесных сфер»

1. В состав нашей *Солнечной системы* входят девять планет с их спутниками, тысячи малых планет, называемых астероидами, а также кометы и частички пыли, которые обращаются вокруг Солнца.

Планеты — менее массивные и гораздо более холодные небесные тела, чем звезды. Звезды излучают собственный свет, а планеты не настолько велики, чтобы в их недрах могли начаться реакции ядерного синтеза. Планеты светят отраженным светом звезд.

Массы планет Солнечной системы заключены в пределах от масс самой маленькой планеты Плутона до самой большой — Юпитера: его масса в 318 раз больше, чем масса Земли. На всю планетную систему приходится менее $1/740$ массы Солнца.

Размеры планет изменяются также от самого маленького Плутона до самого большого Юпитера, диаметр которого 142 700 км. Диаметр гиганта Юпитера составляет примерно $1/9$ солнечного.

В чем состоит основное различие между планетой и звездой?

Планета менее массивна, чем звезда, и холоднее ее. Она светит отраженным светом звезды (звезда же сама излучает свет).

2. Все планеты Солнечной системы *обращаются* вокруг Солнца в одном и том же направлении — с запада на восток. Это движение называется *прямым движением*.

Плоскость орбиты Земли, по которой она движется вокруг Солнца, называется *плоскостью эклиптики*. Орбиты всех планет, кроме Плутона, расположены вблизи этой плоскости словно желобки на грампластинке. Эти факты подтверждают теорию происхождения Солнечной системы путем аккреции (конденсации) вещества. Все планеты и Солнце, вероятно, образовались из вращающегося с запада на восток первичного облака.

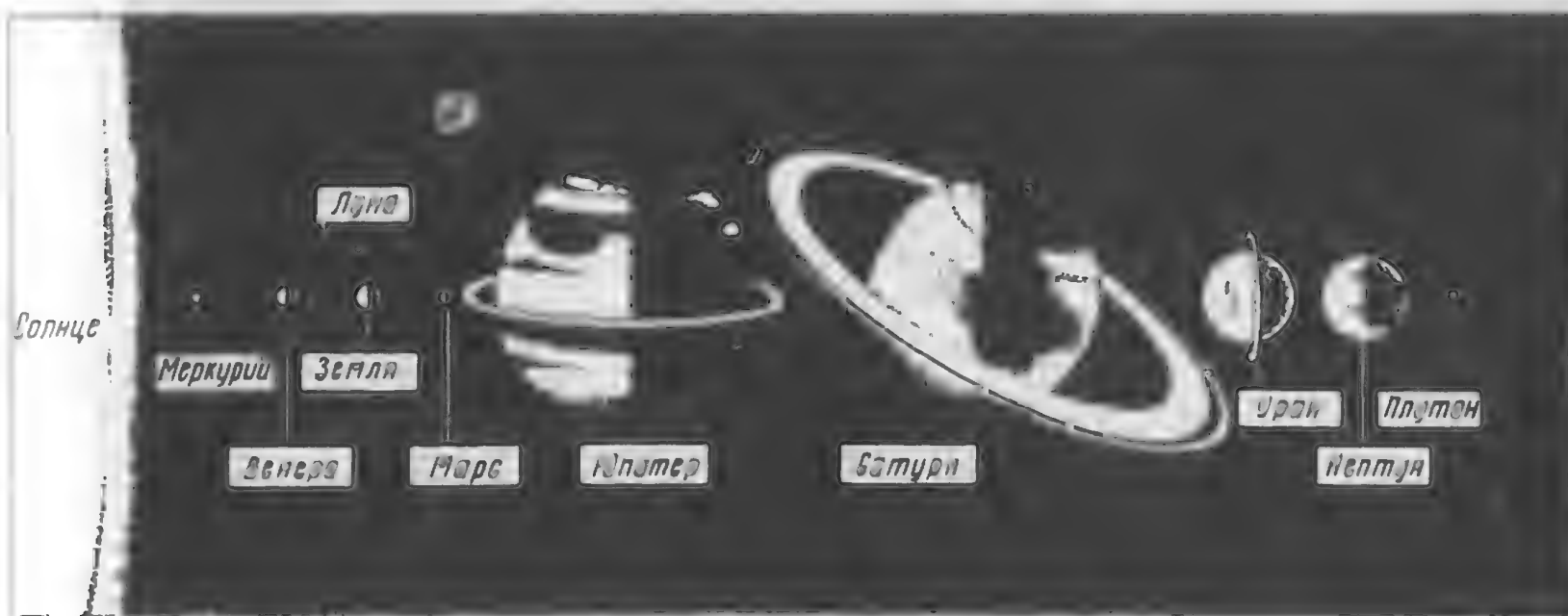


Рис. 8.1. Относительные размеры Солнца, планет, Земли и Луны.

Планеты, орбиты которых расположены ближе к Солнцу по отношению к Земле, называются *внутренними*, а все остальные — *внешними*.

Посмотрите на рисунок 8.2. Укажите (а) внутренние и (б) внешние планеты.

(а) Меркурий, Венера; (б) Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон.

3. Пять планет — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн — на небе выглядят как очень яркие звезды. Солнце и Луна

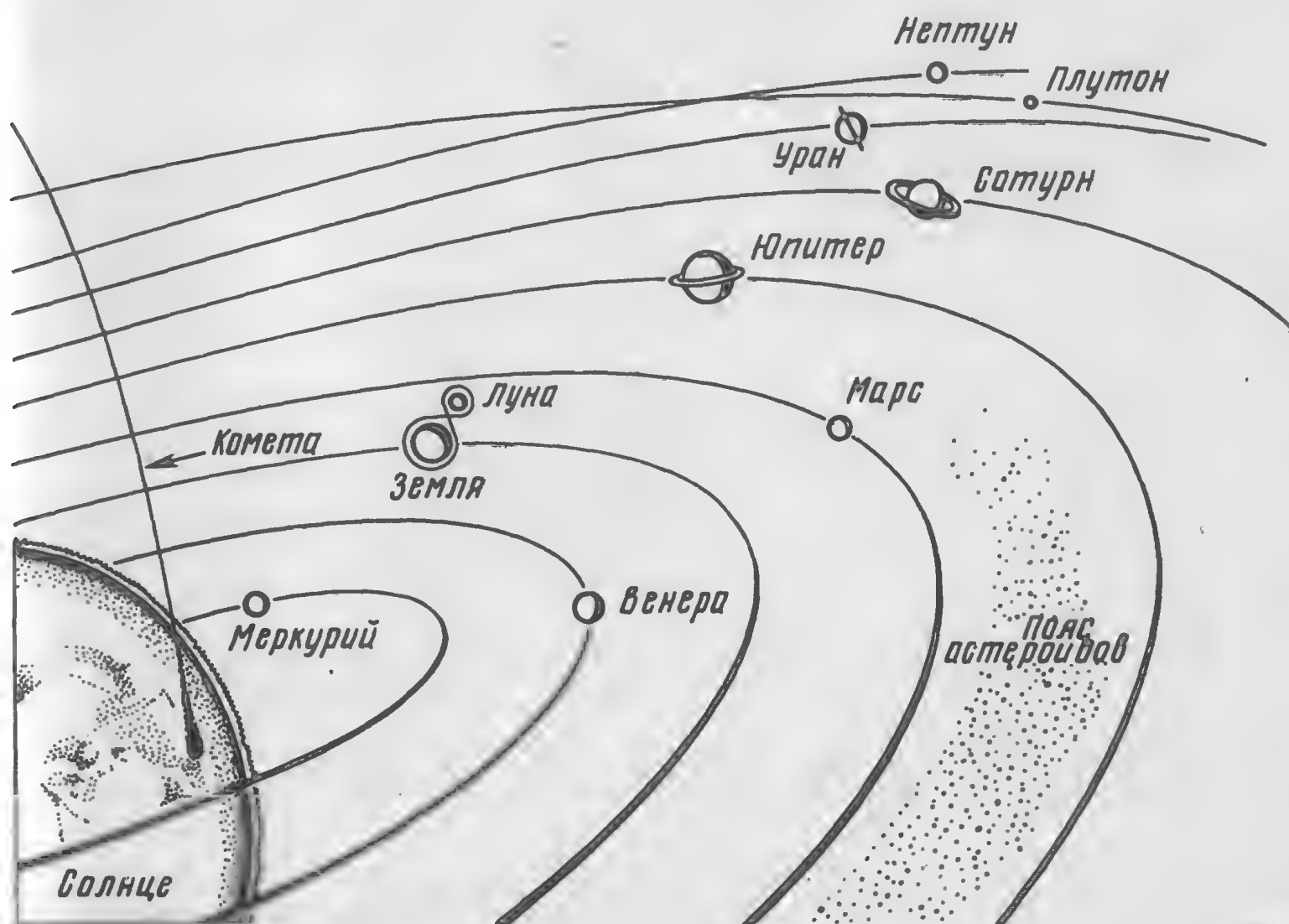


Рис. 8.2. Внутренние и внешние планеты.

и эти пять ярких планет были известны еще в древности. Раньше думали, что каждая планета управляет каким-либо одним днем недели, которому присваивали ее имя (латинское).

Современные английские названия дней недели произошли от имен англосаксонских богов, являющихся эквивалентом римских богов и богинь. Во французском и испанском языках дни недели — это измененные латинские названия¹.

(а) Какое из названий дней недели в английском языке ближе всего к латинскому имени бога?

(б) Какие дни недели в английском языке имеют имена англосаксонских богов?

День недели	Английское название
Воскресенье	Sunday
Понедельник	Monday
Вторник	Tuesday
Среда	Wednesday
Четверг	Thursday
Пятница	Friday
Суббота	Saturday

(а) Суббота; (б) Вторник, Среда, Четверг, Пятница.

4. Луна — это единственный естественный спутник Земли, обращающийся вокруг нашей планеты, в то время как Земля обращается вокруг Солнца. Луна *светит* на небе *отраженным* солнечным светом.

Вид Луны регулярно изменяется в течение каждого месяца. Солнце всегда освещает ровно половину Луны, но светлая доля Луны, которую мы видим с Земли и называем *фазой*, все время изменяется в зависимости от взаимного положения Солнца, Земли и Луны.

Обратитесь к рисунку 8.3. В *новолуние* Луна темная. Она не видна на небе, потому что к Земле обращена ночная сторона Луны. Несколькими днями позже лунный серп начинает *прибывать* (становится больше). В эти дни часто наблюдается *пепельный* свет Луны, когда ее диск слабо освещен солнечным светом, отраженным от Земли.

Примерно через 7 дней после новолуния, когда Луна пройдет $\frac{1}{4}$ часть своего пути вокруг Земли, она восходит около полудня, и мы наблюдаем *первую четверть*. После этого освещенная доля лунного диска продолжает *прибывать* — к Земле обращено более половины яркого, освещенного лунного полушария.

Когда *возраст* Луны составляет около двух недель, наступает *полнолуние*, и своим полным, ярким диском она освещает небо в течение всей ночи. После этого видимая часть светлого диска Луны начинает уменьшаться в размере, или *убывать*, по мере то-

¹ Происхождение названий дней недели в русском и других славянских языках совершенно иное и никак не связано с астральными представлениями, которые отразились в романских языках. — Прим. ред.

Небесное тело	Английское название	Англо-саксонский эквивалент римского божества	Названия дней недели		
			латинское	французское	испанское
Солнце	Sun		Dies Solis	Dimanche	Domingo
Луна	Moon		Dies Lunae	Lundi	Lunes
Марс	Mars	Tiw	Dies Mertis	Mardi	Martes
Меркурий	Mercury	Woden	Dies Mercurii	Mercredi	Miércoles
Юпитер	Jupiter (Jove)	Thor	Dies Jovis	Jeudi	Jueves
Венера	Venus	Freya	Dies Veneris	Vendredi	Viernes
Сатурн	Saturn		Dies Saturni	Samedi	Sábado

го как она завершает оборот вокруг Земли в течение последних двух недель своего цикла.

Время, необходимое для того, чтобы лунные фазы повторились, называется синодическим месяцем; он равен 29,5 сут ($29^d 12^h 44^m 02^s, 9$).

По рисунку 8.3 определите фазы, соответствующие указанным положениям Луны на орбите: (a) рост серпа; (b) первая четверть; (c) рост «горбушки»; (d) убывание «горбушки»; (e) третья четверть; (f) убывание серпа.

(a) 2; (b) 3; (c) 4; (d) 6; (e) 7; (f) 8.

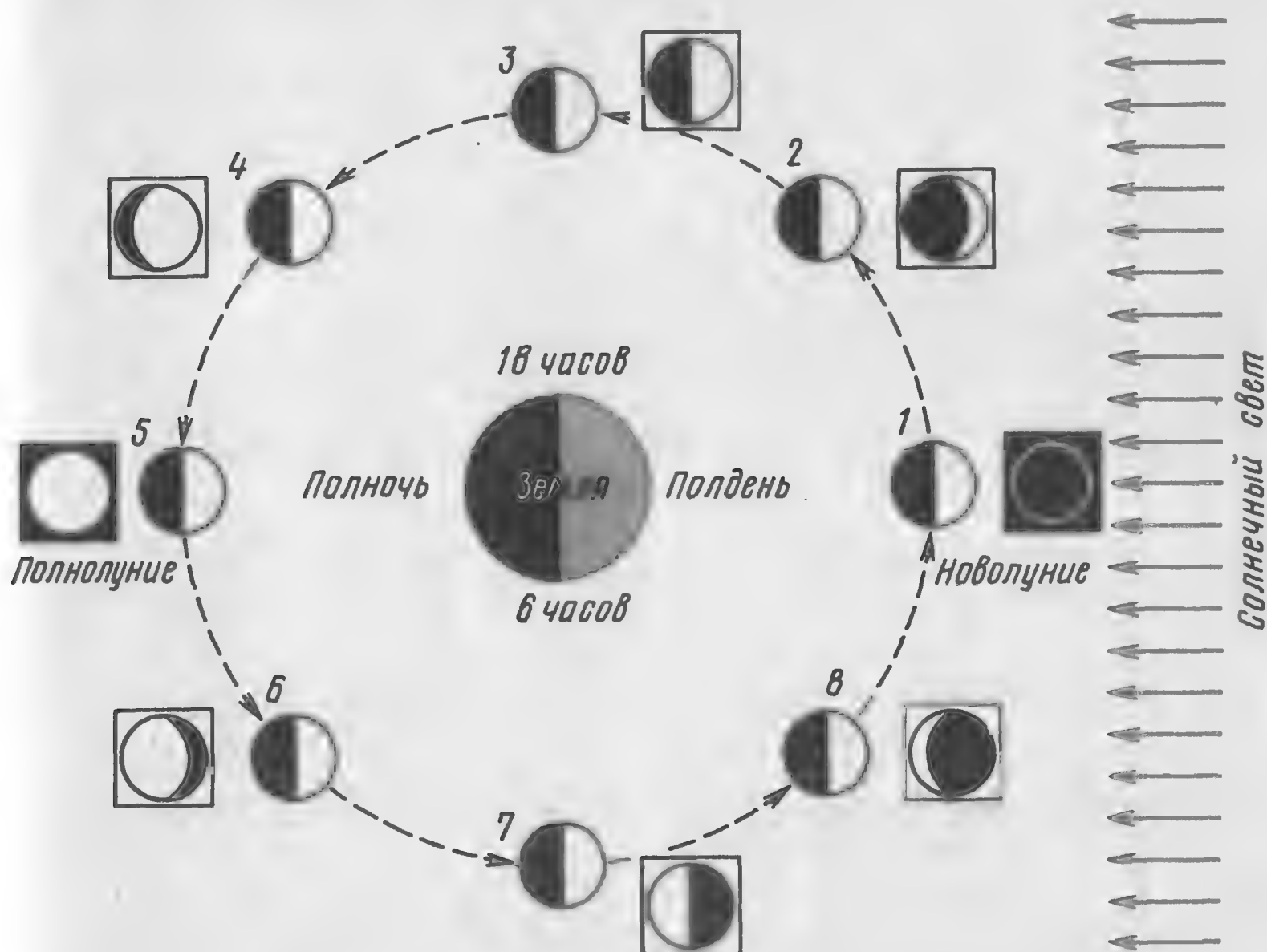


Рис. 8.3. Фазы Луны.



Рис. 8.4. Петлеобразное движение Марса.

5. Положения планет не указываются на звездных картах. Звезды имеют одни и те же относительные положения на небе в течение десятилетий, а планеты не сохраняют их неизменными. Слово «планета» по-гречески означает «блуждающая». Планеты перемещаются по небесной сфере вблизи эклиптики.

На земном небе Меркурий и Венера двигаются в прямом и обратном направлениях, находясь то впереди, то позади по ходу движения Солнца. В элонгации, т. е. при максимальном восточном или западном удалении планеты от Солнца, угловое расстояние составляет 48° для Венеры и 28° для Меркурия.

Марс, Юпитер и Сатурн двигаются через созвездия Зодиака в основном в восточном направлении. Время от времени, прежде чем снова начать движение в прямом направлении, планеты совершают обратное движение, называемое *попятным*.

В качестве примера на рисунке 8.4 показаны последовательные положения Марса на фоне созвездий Зодиака с августа 1975 г. по октябрь 1976 г. Видимое попятное движение вместе с прямым называется *петлеобразным* движением.

В астрономических календарях вы можете найти точное положение планет на любую данную ночь (см. список литературы).

Предложите способ отыскания определенной планеты, например Юпитера, сегодня на ночном небе.

С помощью астрономического календаря определите, в каком зодиакальном созвездии находится сегодня Юпитер. Най-

дите это созвездие на вашей звездной карте. Предположим, например, что сегодня Юпитер находится в созвездии Тельца. Если Телец сегодня виден на ночном небе, то вы легко сможете отыскать и Юпитер. Им окажется звезда, не принадлежащая созвездию.



Рис. 8.5. Юпитер в созвездии Тельца.

Попытайтесь в течение нескольких месяцев наблюдать Венеру и Марс и регистрировать их положение на небе. Используйте приведенные сведения для объяснения того, что вы увидите.

6. Поиск простого объяснения наблюдаемых движений планет изменил взгляд человека на мир.

В «Альмагесте», написанном в 150 г. н. э., александрийский астроном Птолемей изложил древний *геоцентрический* (т. е. ставящий Землю в центре Вселенной) взгляд на мир. Считалось, что орбиты имеют идеальные формы кругов. Предполагалось, что Солнце, Луна и пять планет движутся по малым кругам, называемым *эпициклами*, центры которых движутся вокруг Земли по большим кругам, называемым *деферентами*.

В течение более чем четырнадцати столетий *система Птолемея* принималась в качестве основы для астрономических вычислений. Она с большой точностью описывала наблюдаемые положения и движения небесных тел и выражала общий, распространенный взгляд на мир, который сложился у людей при наблюдении неба. С небольшими изменениями геоцентрическая теория стала в средние века религиозной догмой.

Польский астроном *Николай Коперник* (1473—1543) подготовил труд, который увидел свет в год его смерти. В нем он изложил *гелиоцентрическую* систему, по которой в центре мира находится Солнце. В коперниканской системе планеты, включая Землю, обращаются вокруг неподвижного центрального Солнца. Согласно теории Коперника, видимые петлеобразные движения планет происходят в результате сложения действительных орбитальных движений Земли и наблюдаемых с нее планет.

Видимый путь Марса, показанный на рисунке 8.6, объясняется следующим образом. Марс никогда не движется по своей орбите в обратном направлении. Планеты всегда движутся только вперед. Петлеобразное движение на небе возникает, как это видно, из-за относительных движений Земли и Марса. Наша Земля, двигаясь с большей скоростью, догоняет Марс и проходит мимо него. Поэтому нам с Земли кажется, что Марс как бы движется в обратном направлении. (Это все равно, что наблюдать медленно движущийся автомобиль с другой, проносящейся мимо него машины.)

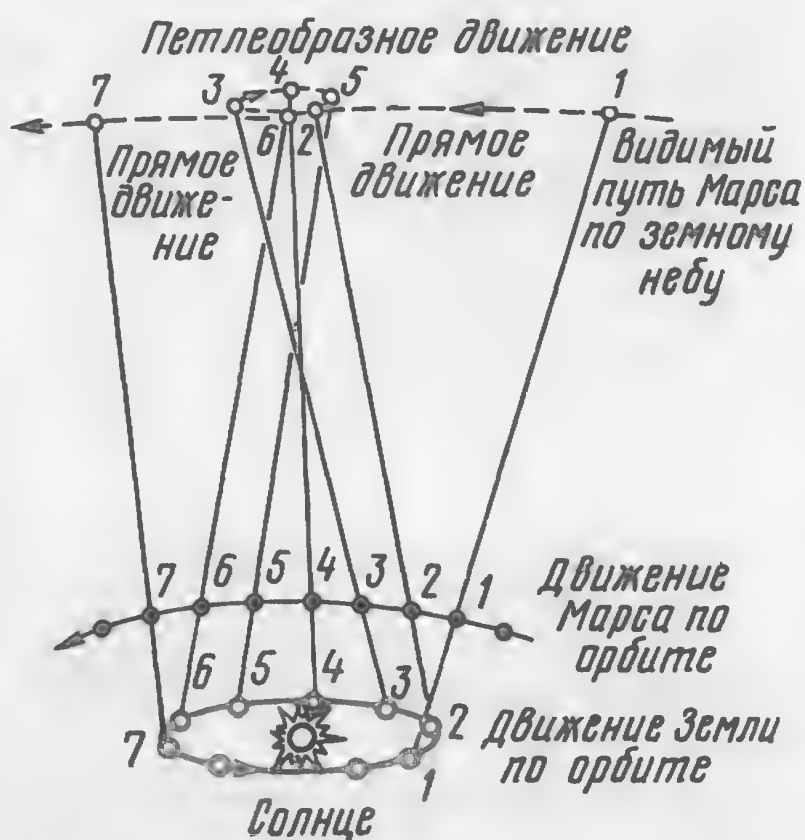


Рис. 8.6. Объяснение видимого движения Марса.

Какие нужны были изменения в философских взглядах людей на Землю, чтобы принять коперниканскую теорию вместо птолемеевой?

Больше нельзя было считать Землю уникальной, находящейся в центре всей Вселенной.

7. Итальянский ученый *Галилео Галилей* (1564—1642) получил важные наблюдательные подтверждения коперниканской системы мира. Галилей впервые использовал для наблюдения неба телескоп. Он заметил, что Венера регулярно изменяет свои фазы.

Система Птолемея не могла объяснить фазы Венеры. А коперниканская система дала этому факту простое объяснение. В тех случаях, когда Венера и Меркурий находятся в различных положениях на своих орбитах вокруг Солнца, они по-разному отражают на Землю свет и поэтому наблюдаются в разных фазах.

В конце жизни, когда Галилею было почти 70 лет, он был обвинен римско-католической церковью в пропаганде учений, идущих вразрез со Священным писанием. Его заставили отречься от своих взглядов на правильность учения Коперника.

Объясните, почему наблюдения фаз Венеры Галилеем в его крохотный телескоп были так важны для подтверждения коперниканской (гелиоцентрической) системы мира.

Если бы Венера и Солнце обращались вокруг Земли, как это следует из геоцентрической теории, то у Венеры не происходило бы смены фаз. Для объяснения изменения фаз Венеры необходимо предположить, что она движется вокруг Солнца, так же как Луна движется вокруг Земли.

8. Немецкий астроном *Иоганн Кеплер* (1571—1630) получил простое и точное описание движения планет. В течение почти



Рис. 8.7. Фазы Венеры, видимые с Земли.

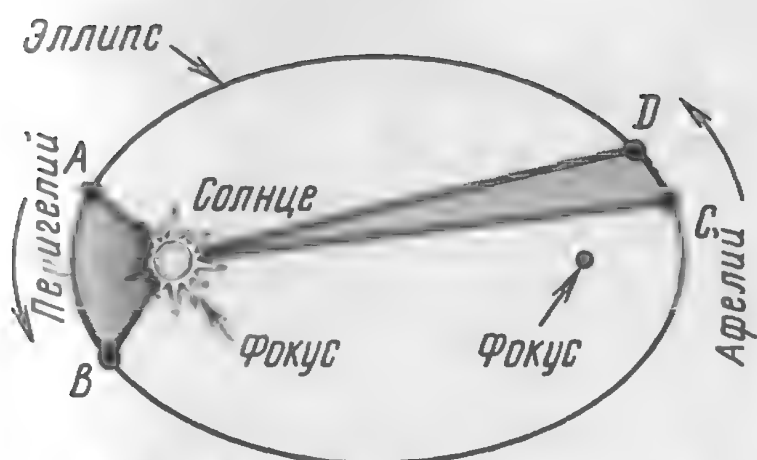


Рис. 8.8. Движение планет.

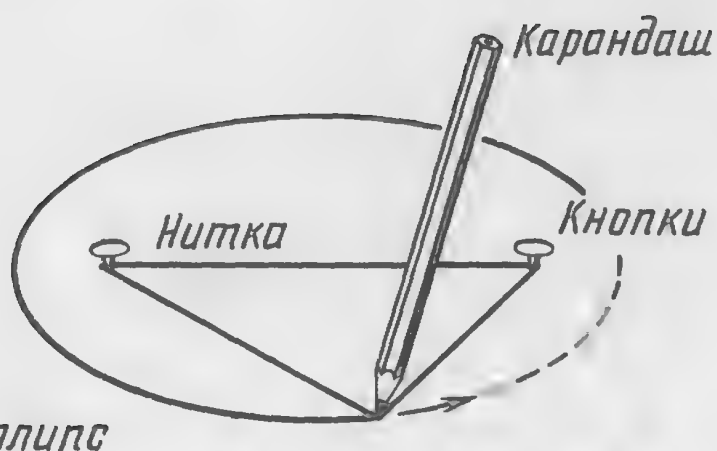


Рис. 8.9. Способ построения эллипса.

20 лет он трудился над обработкой результатов наблюдений неба, перешедших к нему от датского астронома *Тихо Браге* (1546—1601).

Законы планетных движений Кеплера намного повысили точность предсказания положений планет. Три закона гласят:

1. Каждая планета движется вокруг Солнца по эллиптической орбите, причем Солнце находится в одном из фокусов эллипса (рис. 8.8).

2. Каждая планета движется таким образом, что воображаемая линия, соединяющая Солнце и планету, за равные промежутки времени описывает равные площади. Планета проходит пути от *A* до *B* и от *C* до *D* за одно и то же время. Другими словами, планеты движутся быстрее всего, когда они максимально приближаются к Солнцу (*перигелий*), и медленнее всего, когда находятся на наибольшем удалении (*афелий*).

3. Квадраты периодов времени, необходимого для того, чтобы две планеты завершили один оборот вокруг Солнца, имеют то же самое отношение, что и кубы их средних расстояний от Солнца.

Третий закон Кеплера может быть использован для нахождения расстояния d планеты от Солнца по сравнению с расстоянием в 1 а. е. (раздел 7.2). Орбитальный период p планеты в годах находится из наблюдений. Тогда третий закон Кеплера записывается: $d^3 = p^2$. Например, период обращения Юпитера по орбите составляет 11,86 лет, соответственно $d^3 = (11,86)^2 \cong 141$. Отсюда мы находим расстояние $d = \sqrt[3]{141}$, или $d = 5,2$ а. е.

Как далеко от Солнца находится планета, если ее орбитальный период составляет 8 лет?

4 а. е. Согласно третьему закону Кеплера, $d^3 = p^2$. Следовательно, $d^3 = 8^2 = 64$. Значит, $d = \sqrt[3]{64} = 4$.

Чтобы нарисовать эллипс, нужно воткнуть в доску две кнопки. Затем натянуть вокруг них нитку. Далее нужно рисовать эллипс, удерживая нитку натянутой острием карандаша (рис. 8.9).

9. Законы Кеплера объясняют, как планеты движутся. Английский математик и естествоиспытатель *Исаак Ньютон* (1642—

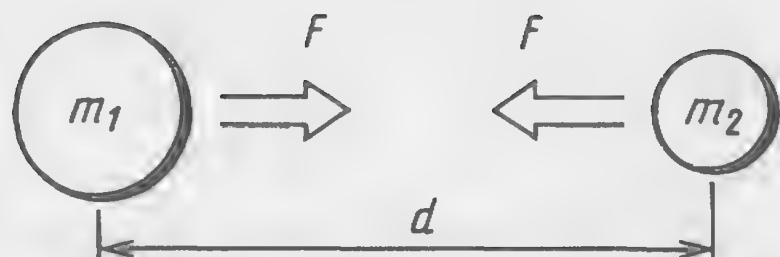


Рис. 8.10. Закон всемирного тяготения Ньютона.

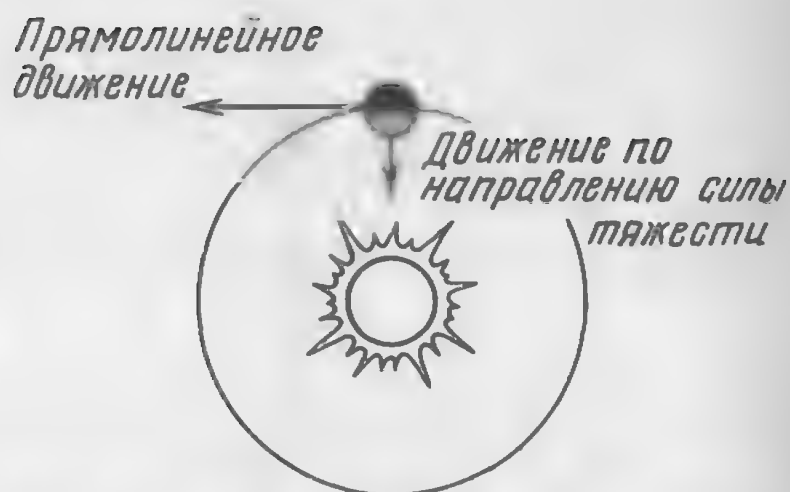


Рис. 8.11. Две составляющие орбитального движения планеты.

1727) сформулировал закон, который объясняет, *почему* планеты движутся именно так.

Закон всемирного тяготения Ньютона гласит, что два любых тела с массами m_1 и m_2 , отдаленные друг от друга на расстояние d , притягиваются друг к другу с силой F , называемой силой гравитации, которая прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадратам расстояний друг от друга. Формула такова:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2},$$

где G — гравитационная постоянная.

Сила притяжения удерживает планеты,двигающиеся по криволинейным орбитам вокруг Солнца. Без этой силы они улетели бы по прямым линиям в космическое пространство. Нужная сила обеспечивается притяжением Солнца, она постоянно тянет планеты по направлению к Солнцу.

Комбинация прямолинейного движения по инерции и движения по направлению к Солнцу под действием силы гравитации удерживает планеты на орбитах вокруг Солнца.

Понадобился гений Ньютона, чтобы понять, что именно его закон объясняет, почему предметы падают на Землю, почему движутся по орбитам Луна и планеты. Этот закон называется *законом всемирного тяготения*, а это означает, что он справедлив для всех тел во Вселенной.

Закон тяготения и три закона движения, которые сформулировал Ньютон, являются основными законами физики.

Отталкиваясь от основных принципов, Ньютон обобщил и математически обосновал законы планетных движений Кеплера. Он создал и использовал в своей работе раздел высшей математики, который мы теперь называем математическим анализом.

Объясните с помощью закона Ньютона, почему спутники удерживаются на орбитах около своих планет.

На своей орбите около планеты спутник удерживается вследствие сложения двух движений — прямолинейного движения по инерции и движения к планете, вызываемого ее притяжением

10. Наша Луна движется вокруг Земли со *средней скоростью* 3693 км/ч (1,02 км/с).

Время, необходимое для того, чтобы Луна совершила один полный оборот вокруг Земли по отношению к звездам, составляет примерно $27\frac{1}{3}$ сут ($27^d 07^h 43^m 11^s, 5$) и называется *сидерическим месяцем*.

Средний угловой диаметр Луны на небе составляет примерно $\frac{1}{2}^\circ$ ($31' 05''$ дуги). Так как путь Луны вокруг Земли — это *эллипс*, то она кажется чуть больше в *перигее* (точка орбиты, ближе всего расположенная к Земле) и чуть меньше в *апогее* (наиболее удаленная от Земли точка орбиты).

Найдите на рисунке 8.12 перигей и апогей и укажите, в какой точке эллиптической орбиты Луна выглядит больше и в какой меньше своего среднего размера.

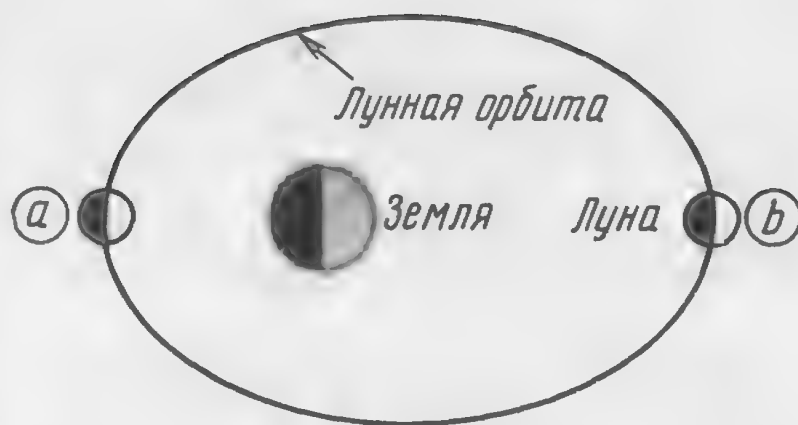


Рис. 8.12. Орбита Луны вокруг Земли.

(а) Перигей; Луна выглядит больше; (b) апогей; Луна выглядит меньше.

11. Если вы любите решать кроссворды, то запомните слово «сизигий». Оно означает, что три небесных тела выстроились на одной линии, как, например, Солнце — Луна — Земля.

Посмотрите на рисунок 8.13. Объясните, почему синодический период Луны, или месяц лунных фаз, на два дня длиннее, чем ее сидерический месяц (см. раздел 4).

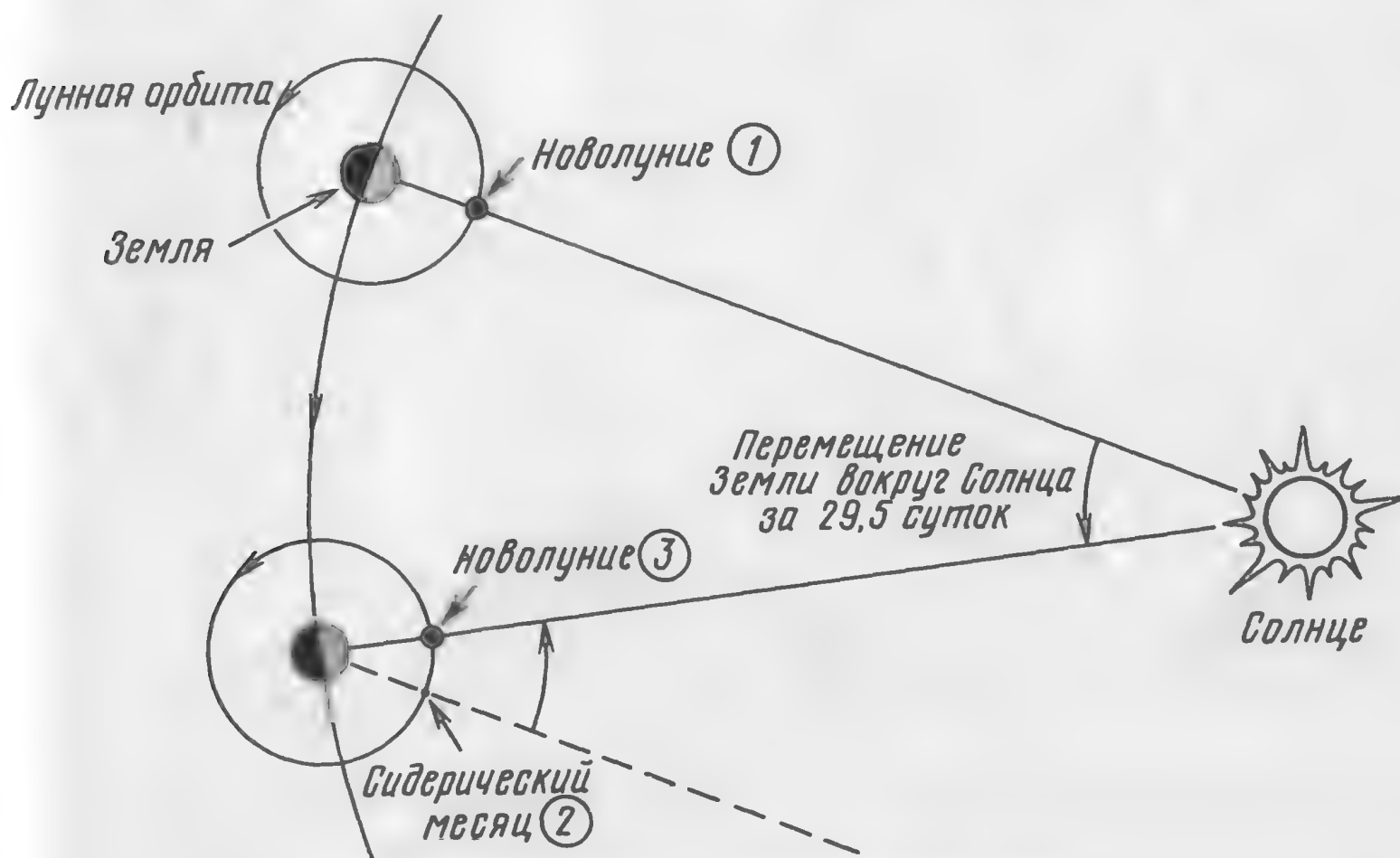


Рис. 8.13. Лунный сидерический месяц.

Начните с новолуния (1). За $27 \frac{1}{3}$ сут Луна совершает один полный оборот вокруг Земли (2). Но в то же время Земля вместе с Луной обращается вокруг Солнца. И должно пройти еще два дня, для того чтобы Луна, Земля и Солнце снова выстроились в одну линию и снова наступило новолуние (3).

12. Космические аппараты подчиняются тем же фундаментальным законам физики, что и созданные природой небесные тела.

Космические аппараты, обращающиеся вокруг Земли, называются *искусственными спутниками*. Ракеты с нужной скоростью выводят эти спутники на орбиту.

Комбинация прямолинейного движения и их движения по направлению к Земле под действием силы земного притяжения удерживает их на орбитах.

Для исследования планет посылаются беспилотные космические аппараты. С необходимой скоростью они запускаются на орбиту вокруг Солнца. Как и планетные движения, их движения вычисляются на основе закона Ньютона. Один из самых впечатляющих до настоящего времени многоцелевых космических полетов — это проект «Вояджер», схема которого показана на рисунке 8.14. Его 12-летнее расписание от запуска в 1977 г. включало встречи с Юпитером и Сатурном, а также несколькими спутниками этих планет, Ураном и, может быть, Нептуном.

Рисунок 8.15 показывает планируемую траекторию полета двух «Вояджеров», выполняющих общую задачу. Чтобы показать ход событий, на схему нанесены траектории планет и косми-

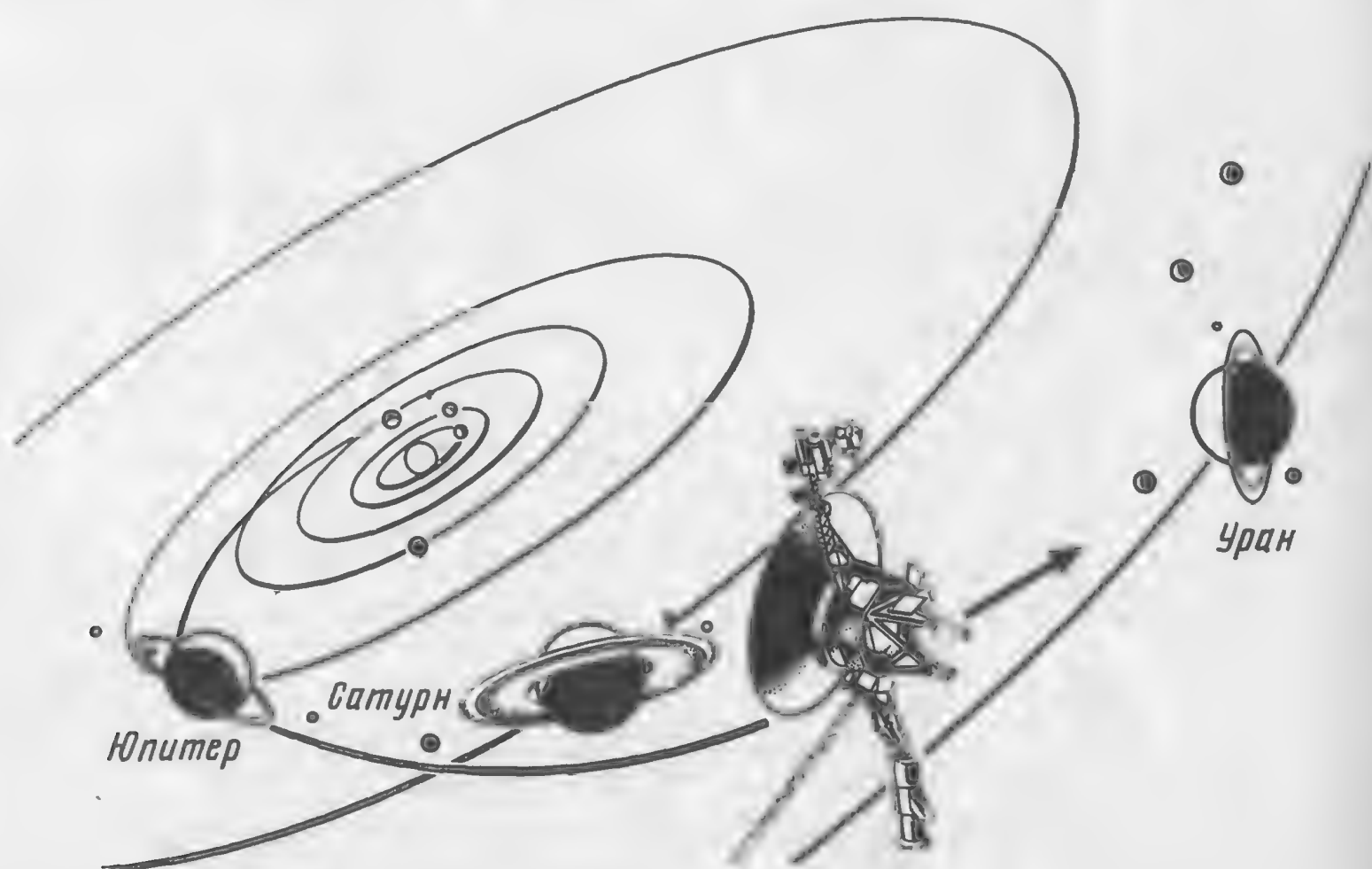


Рис. 8.14. Проект «Вояджер».

ческих аппаратов. Цифры на схеме показывают точную дату встречи космических аппаратов с каждой из планет.

Обратитесь к рисунку 8.15. Через сколько лет после запуска «Вояджер-2» достиг (а) Юпитера? (б) Сатурна? Через сколько лет пути он достигнет (с) Урана? (д) Нептуна?

- (а) 2 года; (б) 4 года;
(с) 9 лет; (д) 12 лет.

13. В таблице 8.1 приведены основные характеристики девяти планет.

Меркурий, Венера, Земля и Марс имеют сходные физические и орбитальные характеристики. Они называются планетами земной группы. Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун также походят друг на друга, и их объединяют под названием планеты-гиганты или же планеты группы Юпитера. Таинственный Плутон практически не вписывается ни в одну из этих групп.

Изучите таблицу 8.1. Как планеты земной группы отличаются от планет-гигантов по (а) расстоянию от Солнца? (б) размеру? (с) массе? (д) плотности?

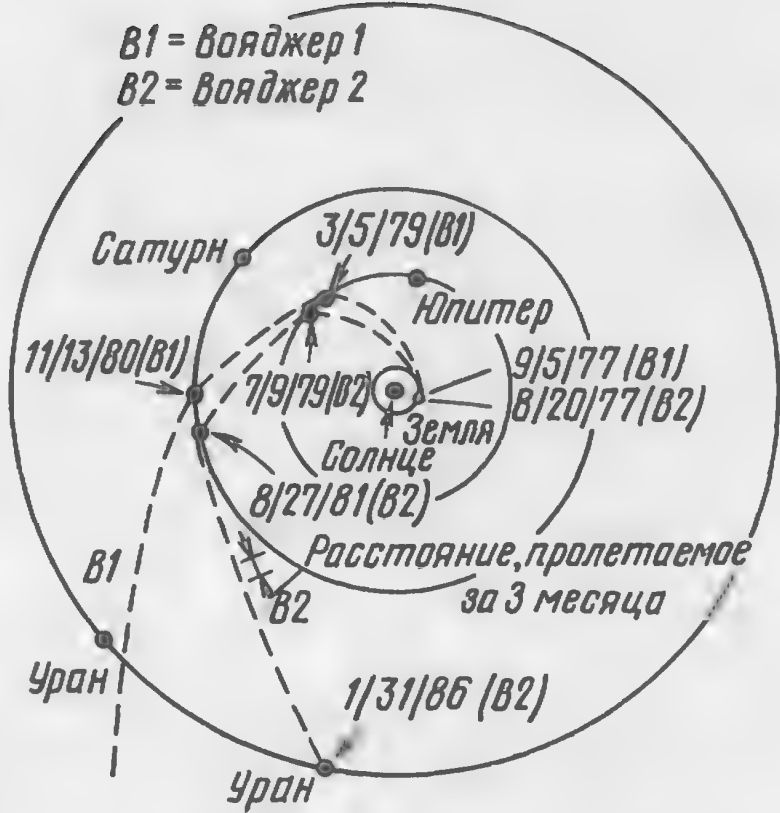


Рис. 8.15. Планируемая траектория двух космических аппаратов «Вояджер».

Планеты земной группы	Планеты-гиганты
(а) около Солнца	далеко от Солнца
(б) маленький диаметр	большой диаметр
(с) маленькая масса	большая масса
(д) высокая плотность	низкая плотность

14. В таблице 8.1 обратите внимание на различие в продолжительности суток и года для планет земной группы и планет-гигантов.

Период обращения — время, необходимое для того, чтобы планета совершила один полный оборот вокруг Солнца. Период обращения — это продолжительность одного года планеты. Год планет земной группы лежит в пределах от 88 (Меркурий) до 687 земных суток (Марс). Год на планетах-гигантах длится гораздо дольше и равен многим земным годам.

Все планеты по мере их обращения вокруг Солнца вращаются также вокруг своих осей. Период вращения — промежуток времени, необходимый планете, чтобы совершить один оборот вокруг

Таблица 8. 1. Характеристики планет

	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Среднее расстояние от Солнца, миллионы километров, астрономические единицы	57,9 0,39	108,2 0,72	149,6 1,00	228,0 1,52	778,4 5,20	1424,6 9,52	2867 19,16	4486 29,99	5890 39,37
Средняя орбитальная скорость, км/с	47,90	35,05	29,80	24,14	13,06	9,65	6,80	5,43	4,74
Период обращения, годы и сутки	88 сут	224,7 сут	365,26 сут	687 сут	11,86 года	29,46 года	84,01 года	164,1 года	247 лет
Период вращения: сидерический, синодический, дни, ч, мин, с	58,6 176 ^d	243 ^d 116 ^d ,7	23 ^h 56 ^m 04 ^s 24 ^h	24 ^h 37 ^m 23 ^s 24 ^h 39 ^m 35 ^s	9 ^h 55 ^m 30 ^s 9 ^h 55 ^m 33 ^s	10 ^h 39 ^m 26 ^s 10 ^h 39 ^m 26 ^s	16 ^h ? 16 ^h ?	18 ^h ,5? 18 ^h ,5?	6 ^d 09 ^h ? 6 ^d 09 ^h ?
Наклон орбиты к эклиптике, °	7° 00'	3° 24'	0° 00'	1° 51'	1° 18'	2° 29'	0° 46'	1° 47'	17° 10'
Эксцентриситет орбиты	0,21	0,01	0,02	0,09	0,05	0,05	0,05	0,01	0,25
Экваториальный диаметр, км	4880	12 100	12 756	6794	143 200	120 000	51 800	49 500	2600?
Масса (Земля=1)	0,06	0,82	1	0,11	317,9	95,2	14,6	17,2	0,01?
Плотность, г/см ³ (вода=1)	5,44/	5,27	5,52	3,95	1,31	0,70	1,21	1,66	0,8?
Сила тяжести на поверхности (Земля=1)	0,38	0,91	1,00	0,38	2,34	0,93	0,85	1,14	0,04?
Число известных спутников	0	0	1 спутник	2 спутника	16 спутников кольца	22 спутника кольца	5 спутников кольца	2 спут- ника	1 спут- ник

своей оси. Сидерический период вращения — это продолжительность одних сидерических суток на планете (если это необходимо, освежите в памяти материал раздела 1.23).

На планетах земной группы сидерические сутки довольно продолжительны, так как они вращаются сравнительно медленно. Планеты-гиганты вращаются быстро, поэтому у них рассматриваемый период относительно мал. Самые короткие сидерические сутки (на Юпитере) продолжаются всего лишь 9 ч 50 мин.

Синодический период вращения планеты — это продолжительность одних солнечных суток на планете, или промежуток времени между двумя последовательными прохождением Солнца через небесный меридиан при наблюдении с поверхности планеты.

Изучите таблицу 8.1. (а) Какая из планет-гигантов имеет самый длинный год и сколько земных лет он продолжается?

(b) У какой из планет земной группы наибольшие сидерические сутки и сколько в них содержится земных суток?

(с) На какой из планет самые длинные солнечные сутки и сколько в них содержится земных суток?

(а) Нептун. 164,1 земных лет.

(b) Венера. 243 земных дня.

(с) Меркурий. 176 земных сут.

15. Снова обратитесь к таблице 8.1. (а) Сколько спутников имеют все планеты земной группы вместе взятые?

(b) Сколько спутников имеют все планеты-гиганты?

(с) Можете ли вы объяснить это различие?

(а) Планеты земной группы имеют только три известных спутника — один у Земли и два у Марса.

(b) Планеты-гиганты имеют много спутников и колец; до настоящего времени у них открыто более сорока спутников и три кольцевые системы.

(с) Планеты-гиганты более массивны и у них более сильное тяготение, нежели у планет земной группы. Следовательно, у них больше возможностей удержать спутники, которые образовались по соседству или были захвачены во время близкого пролета.

16. Между орбитами Марса и Юпитера существует промежуток, в котором по орбите вокруг Солнца движется множество маленьких, неправильной формы тел, называемых малыми планетами или *астероидами*. Большая их часть находится внутри области, называемой *поясом астероидов*.

В телескоп астероид (что означает «звездоподобный») выглядит как звезда. В каталоги занесено более 2500 астероидов, а всего их, вероятно, миллионы. Самый большой из астероидов, который был замечен первым, — это Церера. Поперечник ее



Рис. 8.16. Размеры наиболее известных астероидов: наибольшего — Цереры, ярчайшего — Весты, а также астероида Эрос группы Аполлона.

1020 км. Церера была открыта сицилийским астрономом Джузеппе Пиацци (1746—1826) в 1801 г. Самый яркий — это астероид № 4 Веста диаметром 549 км.

Общая масса всех астероидов, вероятно, меньше, чем 3% от лунной. Типичные астероиды по составу каменные и металлические, с некоторыми примесями соединений углерода, азота, кислорода и водорода. Вода (в форме гидратов) впервые была замечена на Церере.

Яркие астероиды, по всей видимости, являются телами, которые сконденсировались из первичной солнечной туманности, но не стали настолько большими, чтобы образовать крупную планету. Другие, более мелкие, являются, по-видимому, фрагментами, возникшими в результате столкновений.

Некоторые астероиды пересекают орбиту Марса и заходят внутрь земной орбиты. Они называются *астероидами группы Аполлона*. Астероиды группы Аполлона приходят из областей, расположенных в миллионах километров от Земли. Когда астрономы открывают такой астероид, некоторые люди начинают опасаться катастрофических столкновений. Однако эти события очень маловероятны и никогда не регистрировались.

Таинственный объект, носящий имя *Хирон*, движется вокруг Солнца по орбите, которая лежит между Сатурном и Ураном.

Происхождение Хирона неясно. Он мог быть выброшен гравитационными силами за пределы пояса астероидов; возможно, Хирон — это первый астероид, найденный в неизвестной доселе внешней зоне астероидов. Он может оказаться остатком кометы или оторвавшимся спутником.

Что такое астероиды?

Скопление неправильной формы тел, которые обращаются вокруг Солнца в основном между орбитами Марса и Юпитера.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал восьмой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Какие небесные тела входят в состав Солнечной системы?

2. В чем заключается основное различие между звездой и планетой?

3. Приведите два факта, которые подтверждают аккреционную теорию образования Солнечной системы.

4. В какой фазе увидели бы вы Луну, если бы она восходила (а) в 6 ч вечера? (б) в полдень?

5. Укажите вклад каждого ученого в изучение Солнечной системы.

(а) В 150 г. н. э. в книге «Альмагест» описал геоцентрический взгляд на Вселенную.

(б) На основе наблюдательных данных вывел три эмпирических закона планетных движений.

(с) Первым использовал телескоп для астрономических исследований и открыл фазы Венеры.

(d) Написал книгу, в которой изложил гелиоцентрическую теорию планетных движений. Она была опубликована в год его смерти, в 1543 г.

(е) Сформулировал три основных закона движения и закон всемирного тяготения.

(f) Более двадцати лет наблюдал и регистрировал планетные движения.

1. Николай Коперник

2. Галилео Галилей

3. Иоганн Кеплер

4. Исаак Ньютон

5. Клавдий Птолемей

6. Тихо Браге

6. Что удерживает планеты на их орбитах вокруг Солнца?

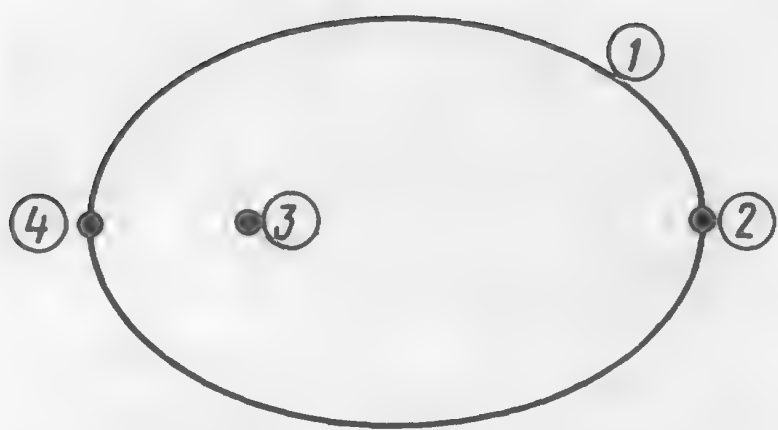


Рис. 8.17. Движение планеты.

7. На рисунке 8.17 найдите следующие элементы: (а) Солнце; (б) эллипс; (с) афелий; (d) перигелий; (е) точку, в которой наибольшая сила притяжения; (f) точку, где планеты движатся медленнее всего.

8. На сколько отличается синодический лунный месяц от сидерического? Объясните почему.

9. Какая сила удерживает космические аппараты на их траекториях в процессе полета через Солнечную систему?

10. Определите, какие перечисленные ниже свойства подходят 1) для планет земной группы, 2) для планет-гигантов.

- (а) Большое расстояние от Солнца
- (b) Небольшой диаметр
- (с) Большая масса
- (d) Низкая плотность
- (е) Короткий период обращения вокруг Солнца
- (f) Короткий период вращения вокруг оси
- (g) Много спутников

11. Подберите к соответствующему описанию нужную планету. У к а з а н и е. Обратитесь к таблице 8.1.

- | | |
|--|-------------|
| (а) Ближе всего к Солнцу. | 1. Меркурий |
| (b) Орбита больше всего наклонена к плоскости эклиптики. | 2. Венера |
| (с) Наибольшая продолжительность сидерических суток. | 3. Земля |
| (d) Год приблизительно равен двум земным годам. | 4. Марс |
| (е) Наиболее массивная. | 5. Юпитер |
| (f) Наиболее плотная. | 6. Сатурн |
| | 7. Уран |
| | 8. Нептун |
| | 9. Плутон |

12. Что представляют собой астероиды?

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильные, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Вокруг одной звезды — нашего Солнца — обращается девять планет с их спутниками, множество малых планет, называемых астероидами, а также кометы и бесчисленные частички пыли (раздел 1).

2. В массе. Планета существенно менее массивна, чем звезда, и холоднее ее. В то время как звезда излучает свой собственный свет, планета светит отраженным светом звезды, вокруг которой она обращается (раздел 1).

3. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении. Орбиты всех планет, кроме Плутона, лежат почти в плоскости эклиптики (раздел 2).

4. (a) Полная Луна; (b) Первая четверть (раздел 4).

5. (a) 5; (b) 3; (c) 2; (d) 1; (e) 4; (f) 6 (разделы 6, 7, 8, 9).

6. Сложение прямолинейного движения по инерции и движения по направлению к Солнцу под действием силы солнечного притяжения (раздел 9).

7. (a) 3; (b) 1; (c) 2; (d) 4; (e) 2; (f) 2 (разделы 8, 9, 10).

8. На двое суток. Это происходит из-за того, что Луна обращается вокруг Земли, а в это же самое время Земля вместе с Луной движется вокруг Солнца (разделы 10, 11).

9. Гравитация (раздел 12).

10. (a) 2; (b) 1; (c) 2; (d) 2; (e) 1; (f) 2; (g) 2 (разделы 13, 14, 15; таблица 8.1).

11. (a) 1; (b) 9; (c) 2; (d) 4; (e) 5; (f) 3 (разделы 13, 14; таблица 8.1).

12. Небольшие холодные тела неправильной формы, которые движутся по орбите вокруг Солнца в основном между орбитами Марса и Юпитера (разделы 1, 16).

ПЛАНЕТЫ

Земля — колыбель разума, но нельзя же вечно жить в колыбели.

К. Э. Циолковский

1. Меркурий самая близкая к Солнцу планета, часто прячется в его лучах. Меркурий получил свое имя в честь древнеримского бога-посланника. Он кружится вокруг Солнца быстрее всех планет со скоростью 174 000 км/ч (47,9 км/с).

На рисунке 9.1 представлена одна из лучших фотографий Меркурия, которые могут быть получены с Земли. Наш первый взгляд на Меркурий с близкого расстояния был сделан с по-

Рис. 9.1. Фотография Меркурия, полученная с Земли.





Рис. 9.2. Фотомозаичное изображение из нескольких фотографий, полученных космическим аппаратом «Маринер-10», дает ясное представление о поверхности Меркурия.

мощью фотоглаза космического аппарата «Маринер-10», который пролетал на расстоянии около 700 км над изрезанной неровностями поверхностью Меркурия в 1974 и 1975 гг. На рисунке 9.2 показаны самые большие кратеры, которые имеют диаметр около 200 км.

Меркурий похож на Луну с ее множеством кратеров, гор и морей. Температура на экваторе Меркурия меняется от чрезвычайно высокой в полдень — около 700 К — до очень низкой в полночь — около 90 К. На Меркурии имеются следы атмосферы: зафиксированы гелий, аргон, кислород, углерод и ксенон. Давление атмосферы на поверхности едва достигает двухтриллионной доли от нормального земного атмосферного давления на уровне моря ($< 2 \cdot 10^{-7}$ Па). Меркурий обладает также очень слабым магнитным полем, которое тем не менее влияет на движение заряженных частиц солнечного ветра.

Наличие кратеров на Меркурии указывает на то, что метеориты бомбардировали внутренние планеты на конечной стадии их образования. Самая большая впадина на Меркурии (бассейн) носит название Равнины Зноя и имеет поперечник 1300 км. Большие ровные области, напоминающие лунные моря (раздел 10.8), свидетельствуют о крупных лавовых излияниях в прошлом.

Если эти ровные районы имеют базальтовый состав, как и на нашей Луне (средняя плотность примерно в 3 раза больше, чем у воды), то как вы объясните тот факт, что средняя плотность Меркурия почти в 5,5 раз больше, чем у воды?

Вероятно, Меркурий имеет очень плотное ядро (ученые предполагают, что Меркурий имеет плотное железное ядро).

2. «Бриллиантовая» *Венера* была названа именем римской богини любви и красоты. По ночам Венера светит ярче всех звезд. Венера настолько бросается в глаза, что ее часто принимают за неопознанный летающий объект (НЛО).

Венера, как и Меркурий, обращается вокруг Солнца внутри орбиты Земли. В результате этого обе планеты проходят цикл смены фаз (см. рис. 8.7), что можно наблюдать в небольшой телескоп. Венера вращается вокруг своей оси с востока на запад, т. е. имеет *обратное вращение*.

Венера и Меркурий видны в западной стороне неба сразу после захода Солнца в период их восточной элонгации. Они как



Рис. 9.3. Венера как вечерняя звезда. Рис. 9.4. Венера как утренняя звезда.

бы следуют за Солнцем по небу. В это время их часто называют *вечерними звездами*.

Как *утренние звезды* они наблюдаются в восточной стороне неба незадолго перед восходом Солнца. В это время они находятся в своей западной элонгации и «ведут» Солнце за собой.

Обычно во время *соединения* Венера и Меркурий проходят выше или ниже Солнца (см. рис. 8.7). Примерно тринадцать раз в столетие Меркурий и гораздо реже Венера в момент соединения проходят по диску Солнца. Очередной раз такое прохождение Меркурия произойдет 13 ноября 1986 г., а Венеры — 8 июня 2004 г. и 5 июня 2012 г. Наблюдатели увидят маленькое пятнышко, передвигающееся по солнечному диску.

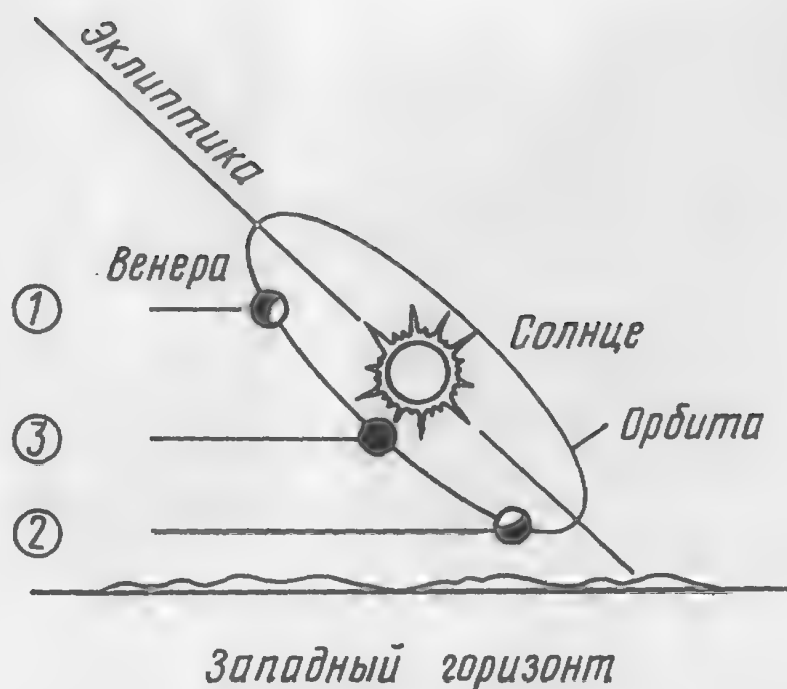


Рис. 9.5. Орбита Венеры.

В *нижнем соединении* Венера бывает с интервалом в 584 дня. Тогда она подходит к Земле ближе, чем любая другая планета (на расстояние около 42 млн. км).

Обратитесь к рисунку 9.5, который показывает Венеру на орбите; определите положение планеты, когда она видна (а) как вечерняя звезда; (b) как утренняя звезда; (c) в соединении.

(a) 1; (b) 2; (c) 3.

3. Венера видна на земном небосклоне как яркое светило из-за того, что она окутана толстым слоем *облаков*, которые отражают много солнечного света. Эти облака скрывают от нашего взора поверхность планеты.

Автоматические межпланетные станции, несущие высокочувствительное оборудование, начали пробиваться через облака Венеры.

В декабре 1978 г. американский аппарат «Пионер-Венера-1» перешел на орбиту искусственного спутника Венеры. Он изучил рельеф планеты с помощью радара и сделал фотографии облаков в ультрафиолетовых и инфракрасных лучах. Спускаемые аппараты советских АМС «Венера» еще в 1975 г. получили первые фотографии поверхности; другие ценные данные о Венере были собраны советскими космическими аппаратами в 1978 и 1982 гг.¹ Все спускаемые аппараты работали только в течение

¹ В 1983 г. на орбитах около Венеры начали длительную работу советские АМС «Венера-15 и -16», главной задачей которых было составление детальной карты рельефа Венеры с помощью бортовых радиолокаторов.— Прим. ред.



a



b



c

Рис. 9. 6. Такой Венера видна: *a* — в наземный телескоп; *b* — на снимке, полученном космическим аппаратом «Пионер-Венера»; *c* — на глобальной радарной топографической карте, построенной ЭВМ.

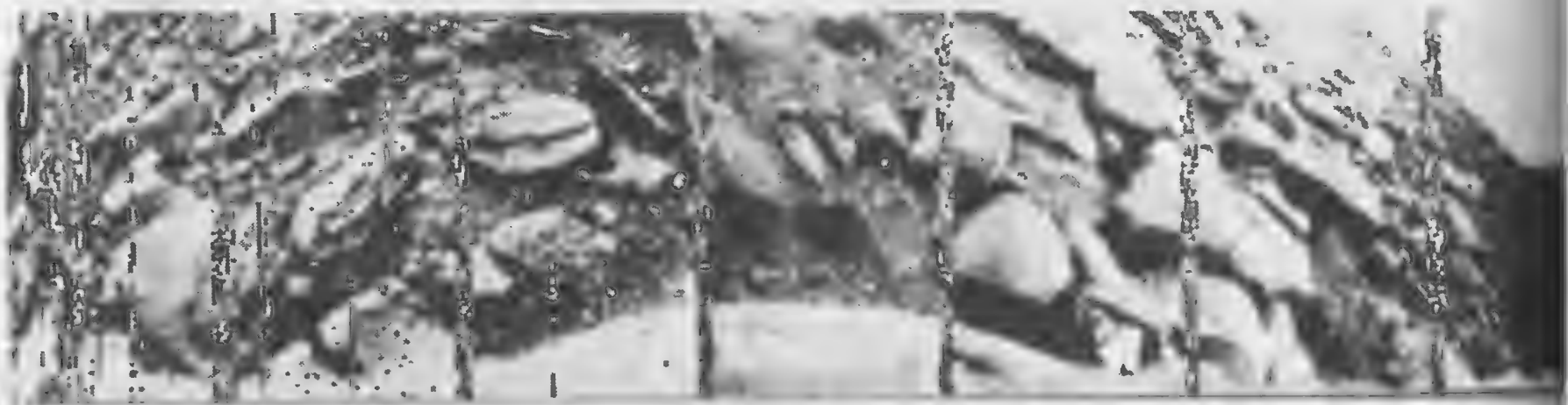
2 ч из-за адских условий на поверхности. В этом десятилетии планируются и другие полеты автоматических станций.

Радиолокационные изображения показывают, что поверхность Венеры сухая и каменистая. Примерно 60% поверхности занимают сравнительно ровные холмистые равнины с хорошо различимыми кратерами. Эти участки отстоят от центра планеты на расстоянии среднего радиуса (6050 км). Около 16% поверхности — безводные бассейны и рифтовые долины с уровнем ниже среднего радиуса. Остальная часть поверхности планеты находится на уровне выше среднего радиуса по крайней мере на несколько тысяч метров.

Возвышенные области, которые похожи на континенты, занимают примерно 8% площади равнин. Самая большая из них — *Земля Афродиты* — имеет размер в половину Африки. Несколько меньше *Земля Иштар*, она размером с континентальные Соединенные Штаты. Здесь находятся *Горы Максвелла*, самый высокий горный массив, поднимающийся на 11 км над уровнем поверхности среднего радиуса. По-видимому, там много сбросовых зон и вулканов.

В состав атмосферы входит 97% углекислого газа, от 1 до

Рис. 9.7. О поверхности Венеры можно судить по первым панорамам, переданным советскими космическими аппаратами.



3% азота и следы водяного пара, гелия, неона, аргона, соединений серы и кислорода. В атмосфере происходят перемещения воздушных масс в больших масштабах. Температура верхнего слоя облаков примерно 250 К. По-видимому, они имеют желтоватый оттенок из-за присутствия едкой серной кислоты. Толщина всех облаков достигает 19 км, а находятся они над поверхностью на расстоянии 50—70 км.

Спускаемые аппараты советских АМС серии «Венера» открыли очень негостеприимный мир. Температура поверхности достигает 755 К из-за того, что углекислый газ и пары воды в облаках удерживают солнечное излучение. Это явление называется *парниковым эффектом*. Атмосфера производит на поверхность давление свыше 90 атм. В атмосфере часто происходят грозы и сверкают молнии.

Венера похожа на Землю размером, массой, плотностью и расстоянием от Солнца. Однако вы не сможете жить там с удобствами. Объясните, почему.

Венера (1) намного горячее, температура поверхности 755 К; (2) имеет ядовитую атмосферу из углекислого газа и (3) колоссальное атмосферное давление (свыше 90 атм).

Рис. 9.8. Земля на лунном небе.





Рис. 9.9. Грушевидная форма Земли.

4. Наша Земля видна из космоса как редкий голубой самоцвет. Третья по счету от Солнца, она самая важная планета для всех нас.

Общая площадь поверхности нашей планеты составляет почти 5,10 млн. км². Более 70% поверхности Земли покрыто водой, которая уникальна в Солнечной системе.

Самая высокая гора на Земле — Эверест в Азии, высота ее более 8,8 км над уровнем моря. Самое глубокое место в океане — Марианская впадина, она уходит на 11 км в глубину ниже уровня Тихого океана.

Масса Земли примерно 6000 секстиллионов килограммов ($5,977 \cdot 10^{24}$ кг). Эта масса обеспечивает ту поверхностную силу тяжести, к которой мы привыкли.

Форма Земли немного напоминает грушу. Ее суточное вращение вокруг оси образовало экваториальное вздутие и полярное сжатие.

Обратитесь к рисунку 9.9. На сколько больше расстояние между диаметрально противоположными точками экватора, чем от Северного до Южного полюса (выразить в километрах)?

Почти на 43 км.

5. Астрономы предполагают, что Земля образовалась около 4,6 млрд. лет назад. Она возникла вместе с другими планетами из одного сжимающегося газопылевого облака, из которого также образовалось Солнце (раздел 7.3).

Сегодня геологи делят Землю на три слоя. Твердый поверхностный слой называется *корой*. На коре, средняя толщина которой составляет 35 км, расположены континенты и океаны. Она состоит в основном из легких пород, таких, как гранит и базальт.

Следующий слой толщиной около 2880 км называется *мантией*. По-видимому, мантия в основном состоит из плотных силикатных пород, которые ведут себя в некотором роде подобно ириске — сжимаются при постепенном увеличении давления, но трескаются при ударе.

Центральный слой толщиной около 3470 км называется *ядром*. Здесь внешний жидкий слой толщиной около 2080 км окружает твердую центральную часть. Ядро, возможно, состоит из уплотненного железа и никеля при температуре около 6400 К.

Обратитесь к рисунку 9.10 и найдите три основных слоя Земли, указав примерную толщину каждого.

- (1) Кора — в среднем 35 км;
- (2) мантия — около 2880 км;
- (3) ядро — около 3470 км.

6. Поверхность нашей Земли постоянно *изменяется* из-за эрозионной и геологической активности. Открытые к настоящему времени самые древние породы (в Гренландии и Миннесоте, США) имеют возраст примерно 3,6 млрд. лет.

Имеются весомые доказательства того, что около 200 млн. лет назад все континенты были объединены в один огромный *суперконтинент*, называемый Пангеей, который позже раскололся. Согласно *теории глобальной тектоники плит*, называемой также *теорией дрейфа континентов*, материки расположены на участках коры поперечником в несколько тысяч километров — *плитах*. Плиты медленно перемещаются по слегка сжатой мантии. По

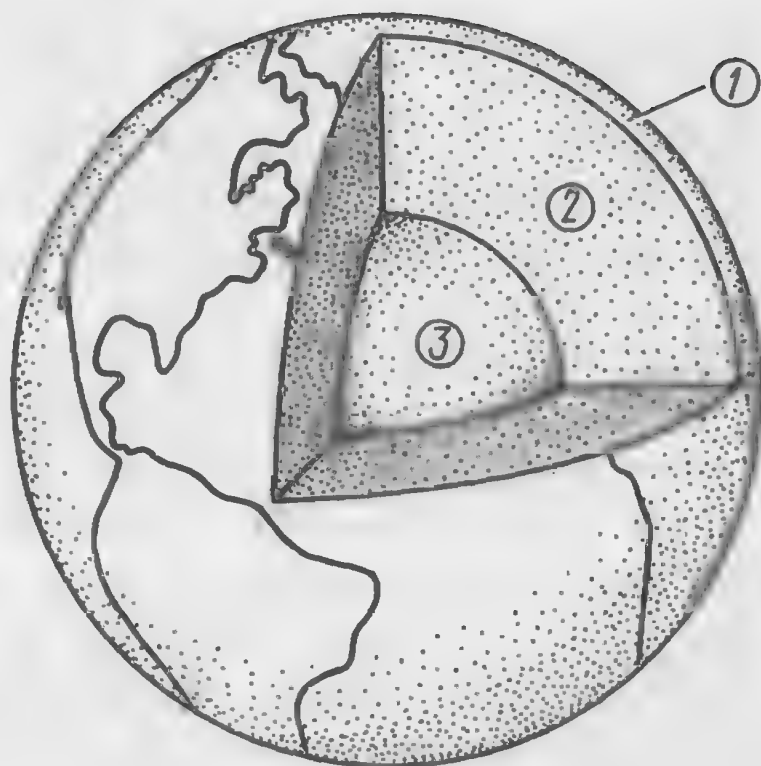


Рис. 9.10. Строение Земли.



Рис. 9.11. Предполагаемая карта Земли, какой она была 200 миллионов лет назад.

мере движения плит континенты медленно расходятся в стороны примерно на дюйм (2,5 см) в год. Каждый год добавляется новый дюйм к более чем 4800 километрам за 200 млн. лет.

Движение плит является также причиной горообразования, землетрясений и вулканической активности. Эти явления происходят на границах между движущимися плитами, в местах, где они с силой прижимаются друг к другу.

Согласно популярной теории, перемещение континентов питают *магматические конвективные потоки*. Магматические потоки текут через мантию. Встретив холодные твердые породы, они растекаются горизонтально. Трение перемещает плиты, несущие континенты. В дальнейшем застывшая лава погружается в глубину мантии. Вдоль срединно-океанических хребтов магма просачивается через кору, постоянно создавая новые породы.

Весомым доказательством дрейфа континентов является обнаружение сходных остатков растений и окаменевших ископаемых на берегах Южной Америки и Западной Африки. Береговые линии этих континентов вписываются друг в друга, хотя в настоящее время они разделены 5000 км Атлантического океана.

В последнее время был измерен возраст пород, взятых со дна Атлантического океана. Самые древние из них, обнаруженные около берегов континентов, имеют возраст 150 млн. лет. Если бы на дне Атлантического океана обнаружили породы с возрастом 4 млрд. лет, как бы это повлияло на теорию дрейфа континентов? Объясните.

Возникли бы серьезные сомнения в правильности этой теории, утверждающей, что Атлантический океан, который простирается почти на 5000 км между берегами континентов, образовался в последние 200 млн. лет. Поэтому он не мог существовать 4 млрд. лет назад.

7. Наша планета обладает *магнитным полем*, которое ориентирует стрелку магнитного компаса.

Северный магнитный полюс расположен в точке с примерными координатами 79° с. ш., 70° з. д. на северо-востоке Канады. Эта точка находится на расстоянии около 1300 км от Северного географического полюса. С течением времени положение магнитного полюса медленно изменяется. Считается, что магнитное поле Земли генерируется ее жидким ядром, которое при вращении планеты действует как гигантская динамо-машина.

Магнитное поле Земли простирается в космос на расстояние до 60 000 км на обращенной к Солнцу стороне и намного дальше на противоположной стороне. Эта область вокруг Земли называется *магнитосферой*.

Земным магнитным полем улавливается множество смертоносных для человека электрически заряженных частиц солнечного ветра. Они продолжают двигаться внутри двух поясов, назы-

ваемых *радиационными поясами* Земли, которые по своей форме напоминают пончики.

Что такое магнитосфера?

Область околоземного пространства, занимаемая магнитным полем.

8. Земля окружена *атмосферой*, простирающейся в космос на несколько сотен километров.

Первичная атмосфера, которая была у Земли свыше 4 млрд. лет назад, по-видимому, сильно отличалась от сегодняшней. Она могла содержать ядовитые соединения водорода, углерода, кислорода и азота, такие, как углекислый газ, аммиак и метан, а также пары воды. *Свободный кислород*, необходимый для дыхания, вероятно, образовался в результате фотосинтеза, происходящего в земных растениях.

В *настоящее время* воздух содержит около 78% азота, 21% кислорода и 1% аргона, углекислого газа и других газов. Сюда также входит переменное количество водяного пара, пыли, угарного газа, химических отходов промышленности и микроорганизмов. Около половины массы этого воздуха расположено в пределах всего 6 км над поверхностью Земли. С увеличением высоты плотность воздуха резко падает. Примерно на высоте от 12 до 50 км над уровнем моря находится *слой озона*. Он содержит наибольшую концентрацию озона (три вместе связанных атома кислорода). Этот слой защищает Землю от губительного солнечного ультрафиолетового излучения.

Общая масса всей атмосферы составляет около 5000 триллионов тонн. Атмосфера удерживается земной силой притяжения.

Земная поверхность и тела, находящиеся на ней, испытывают давление всей толщи воздуха, или, как обычно говорят, испытывают атмосферное давление. Атмосферное давление выражается в единицах, называемых паскалями. 1 Па — это давление, создаваемое силой 1 Н на площади 1 м². На уровне моря давление воздуха 101 325 Па.

Укажите основные параметры воздуха, который поддерживает жизнь на Земле: (а) состав и (б) давление на уровне моря.

(а) Примерно 78% азота, 21% кислорода, 1% углекислого газа и других газов; содержание водяных паров непостоянно; (б) 101 325 Па.

9. Древним римлянам красноватый *Марс* напоминал кровь и огонь, поэтому его называли в честь бога войны. Марс имеет два маленьких спутника, называемых *Фобос* (страх) и *Деймос* (ужас). Их можно наблюдать только в мощные телескопы.

Внешние планеты, и Марс в том числе, выглядят ярче всего, когда они находятся на земном небе в противоположной сторо-

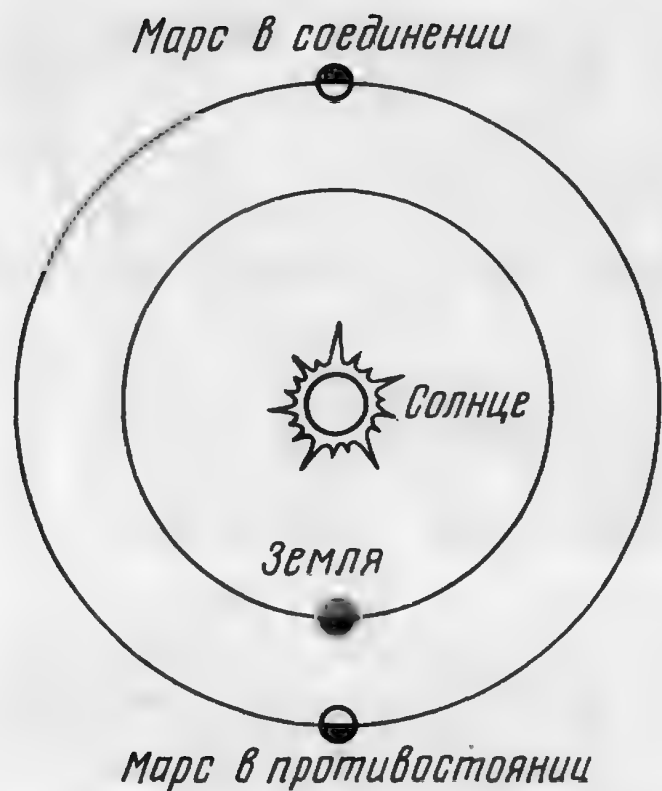


Рис. 9.12. Марс в противостоянии и соединении.

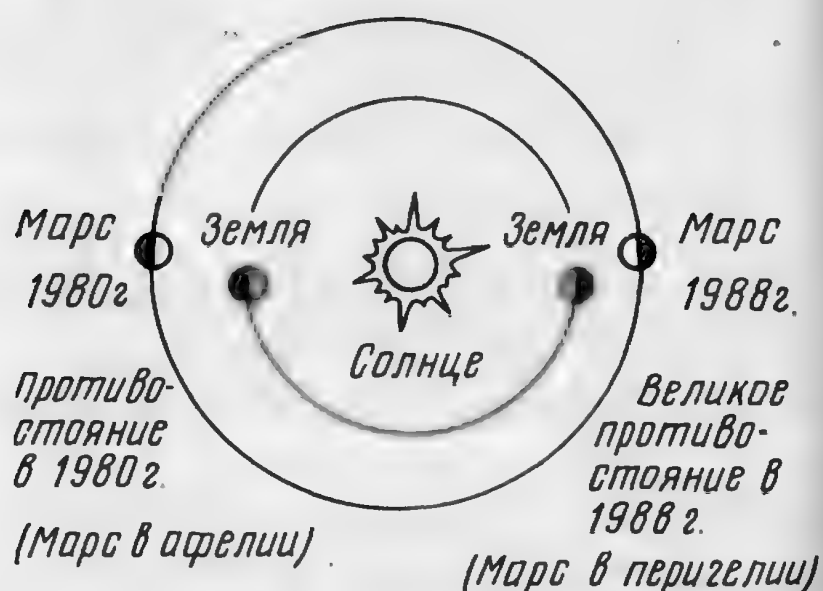


Рис. 9.13. Обыкновенное и великое противостояния Марса в 80-е годы текущего столетия.

не по отношению к Солнцу. Такое положение называется *противостоянием*. В этот момент мы видим полностью освещенный диск планеты. В противостоянии Марс оказывается в среднем через 780 дней.

Труднее всего наблюдать внешние планеты в положении, когда по отношению к Земле они находятся за Солнцем. Это положение называется *соединением*.

Из-за эксцентриситета своей орбиты (см. таблицу 8.1) во время некоторых противостояний Марс подходит к Земле особенно близко. Такие противостояния называются *великими*. Марс имеет в этот момент наибольшие видимые угловые размеры и наблюдать его лучше всего. Великие противостояния наступают в тех случаях, когда Марс находится в перигелии, при этом расстояние от Земли до Марса сокращается до 56 млн. км. Это бывает в августе один раз в 15—17 лет.

Когда Марс находится в *великом противостоянии*, вы можете с помощью телескопа увидеть детали, издавна волновавшие воображение людей. В каждом полушарии видны белые полярные шапки, которые летом уменьшают свои размеры. Раньше считали, что наблюдаемые темные области могут быть водой или растительностью. По всей видимости, темные области — это поверхность, которая обнажается после пылевых бурь.

Некоторые астрономы наблюдали темные образования, называемые *каналами*, в то время как другие никогда их не видели. Впервые об этих образованиях сообщил в 1877 г. итальянский астроном Джованни Скиапарелли, который назвал их *canali*. Итальянское слово «пролив», «желоб» было неправильно переведено как «канал». В начале XX в. американский астроном Персиваль Ловелл вызвал большое волнение своим заявлением о том, что каналы созданы разумными марсианами. Данные,

ТАКОЙ
ГОСТАНОВ

полученные космическими аппаратами, показали, что каналов на Марсе нет.

Почему Марс лучше всего наблюдать во время великих противостояний?

В это время он ближе всего подходит к Земле (Марс и Земля движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, так что расстояние между ними изменяется в значительных пределах — см. рис. 9.13).

10. Впервые мы смогли увидеть хорошее изображение *поверхности* соседней планеты с помощью автоматических телекамер, установленных на космическом аппарате «Викинг-1», который опустился на Марс 20 июля 1976 г., через семь лет после первого выхода на поверхность Луны астронавтов «Аполлона».

Когда «Викинг-1» опустился в районе, называемом Равниной Хриса, в поле зрения его телекамер попали разбросанные камни, песчаные дюны и далекие невысокие холмы. Марсианские координаты места посадки составляют $22,46^\circ$ с. ш. и $48,01^\circ$ з. д. В тот марсианский летний день температура воздуха изменялась от -86°C вскоре после рассвета до наивысшей -30°C в полдень. Атмосферное давление составляло лишь $7 \cdot 10^2$ Па.

Двумя месяцами позже спускаемый аппарат «Викинг-2» опустился на Равнине Утопия в точке с координатами $47,89^\circ$ с. ш. и $225,86^\circ$ з. д. на расстоянии около 7500 км к северо-западу от своего предшественника. В этом месте породы оказались наполненными пузырьками и напоминали лаву из земных вулканов.

Красная пыль в местах посадок выглядит как богатая железом глина. Похоже, что здесь происходило химическое вы-

ТАКОВ
ГОСТАКАСЬ



ветривание. Породы покрыты мелкозернистым красноватым материалом, который, вероятно, является соединением окислов железа (как ржавчина). Красная пыль, которая висит в атмосфере подобно смогу, окрашивает дневное небо в розоватый цвет. А вот заходы Солнца — бледно-голубые. Зимой температура падает до -123°C и появляется слой «изморози».

Ни в одном из мест посадок не было найдено каких-либо следов жизни и жидкой воды. Анализ проб грунта с целью обнаружить микроорганизмы не дал однозначного результата (подробнее об этом см. в главе 12).

Кратко опишите поверхность Марса в местах, где опустились «Викинги».

Она выглядит как красная, безводная, усеянная камнями пустыня. Небо розовое. Температура низкая.

11. Фотографии, переданные космическими аппаратами «Викинг-1 и -2», показали нам безжизненную, безводную планету с изрезанным рельефом. На Марсе есть огромные вулканы, некоторые из них еще могут быть активными. Гигантская гора Олимп поднимается над поверхностью примерно на 24 км. Существуют и глубокие каньоны. Долина Маринера — самый большой из них, ее длина 5000 км. Присутствие кратеров предполагает, что миллиарды лет назад планета интенсивно бомбардировалась метеоритами. Некоторые из них, подобные кратеру Юти диаметром 18 км, выглядят так, как будто в результате сильного удара из них была выброшена вода, смешанная с раздробленными породами.

Атмосфера Марса слишком разрежена, чтобы задерживать губительные солнечные ультрафиолетовые лучи. Ее состав при-

мерно такой: 95% углекислого газа, 2—3% азота, 1—2% аргона, 0,1—0,4% кислорода, а также следы водяного пара и других газов.

Иногда летом в южном полушарии возникают сильнейшие пылевые бури. Часто они проносятся над всей планетой. Ветры, дующие с большой скоростью, поднимают с поверхности и переносят красноватую пыль, которая засыпает или, наоборот, обнажает темные породы.

Сегодня на поверхности Марса нет жидкой воды. Однако существуют косвенные свидетельства древних катастрофических потопов. Искривленные русла напоминают долины рек с притоками. Такое впечатление, что это следы больших древних рек. Вода на Марсе, вероятно, находится в полярных шапках и под поверхностью планеты в виде вечной мерзлоты. Изменения климата могли превратить планету с водой, свободно текущей по поверхности, в холодный, безводный мир.

Космические аппараты «Викинг-1 и -2» подтвердили предположение о существовании на Марсе воды в твердом и газообразном состояниях. Полярные шапки Марса состоят из смеси замерзшей воды и твердой углекислоты. Зимняя «изморозь» — это, по-видимому, замерзшая вода и пыль. Помимо этого в атмосфере иногда появляются туман и тонкие облака.

Ученые полагают, что основой жизни является вода. Можно предположить, что, когда на Марсе было теплее и влажность была выше, там существовала жизнь (подробнее об этом см. в

ТАКОЙ
ГОСТАНАСЬ



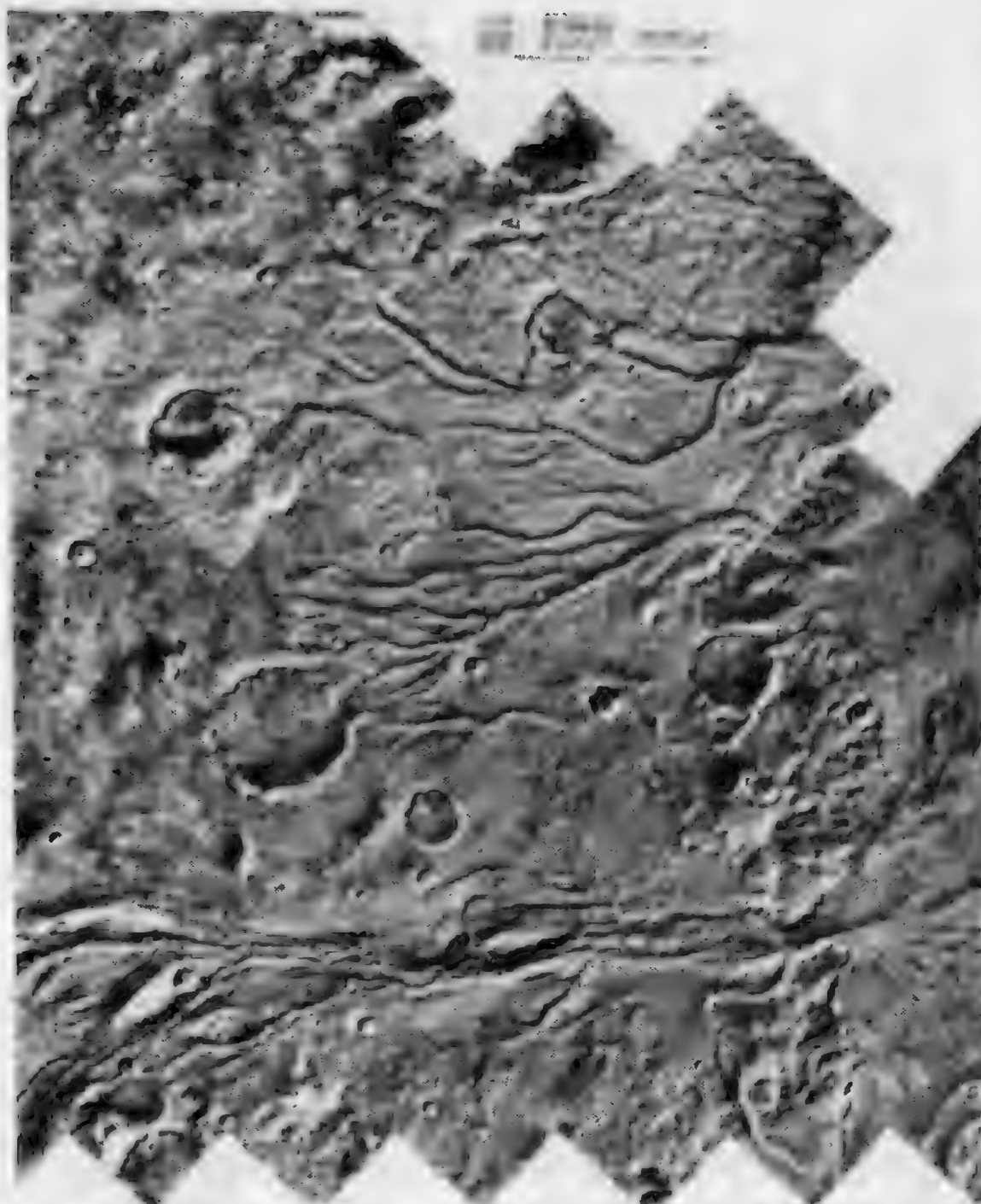


Рис. 9.16. Извилистые русла и кратеры на поверхности Марса.

Рис. 9.17. Фобос, ближайший из двух спутников Марса.

ТАКОМ
ГОСТАНАСЬ





Рис. 9.18. Юпитер и его четыре галилеевых спутника [фото «Вояджера-1»].

планета Юпитер выглядит ярче всех звезд и планет, за исключением Венеры.

На Юпитере имеются разноцветные, параллельные темные и светлые полосы облаков и *Большое Красное пятно*. Четыре самых ярких спутника Юпитера (открытые Галилеем и потому называемые *галилеевыми спутниками*) — *Ио, Европа, Ганимед, Каллисто* — каждую ночь изменяют свое положение по мере обращения вокруг планеты. В специальных астрономических ежегодных календарях даются положения спутников, а также моменты покрытия их Юпитером и прохождения по диску Юпитера.

Лучшие изображения Юпитера были получены в 1979 г., когда космические аппараты «Вояджер-1 и -2» (раздел 8.9) пролетели мимо этой планеты.

В небольшой телескоп четыре самых больших спутника Юпитера выглядят как звезды. Какие наблюдения доказывают, что это на самом деле спутники планеты?

Можно наблюдать, что по мере обращения вокруг Юпитера спутники меняют свое положение относительно планеты.

14. Юпитер массивнее, чем все остальные планеты и их спутники вместе взятые. Он едва не стал звездой. Если бы

Юпитер был еще в восемьдесят раз массивнее, то в его недрах могли бы начаться реакции ядерного синтеза.

Юпитер представляет собой огромный, быстро вращающийся жидкий шар, увенчанный толстой атмосферой, состоящей в основном из водорода и гелия. По-видимому, он имеет относительно небольшое железосиликатное ядро. Планету окружает тонкое кольцо, состоящее из отдельных частичек (от микроскопических до размеров в несколько метров). Оно находится на расстоянии около 57 000 км над верхними слоями экваториальных облаков.

Цветные облака и закрученные атмосферные вихри циркулируют в буквально на глазах изменяющейся атмосфере. Иногда здесь вспыхивают гигантские сверхмолнии. Между перемещающимися темными цветными *полосами* и более светлыми *зонами* возникают сложные атмосферные образования. Водород, гелий, а также зафиксированные следы метана, аммиака, водяного пара и других атмосферных газов бесцветны. Яркие красные, оранжевые и коричневые облака могут быть окрашены различными химическими соединениями и находиться на различной глубине.

Знаменитое *Большое Красное пятно* — это колоссальный атмосферный вихрь. В течение более трехсот лет наблюдений оно изменяло свой размер, яркость и цвет. Большое Красное пятно вращается против часовой стрелки. Земля по сравнению с Большим Красным пятном кажется маленькой. Его ширина 14 000 км, а длина 40 000 км.

В верхних слоях облаков температура доходит до -130°C . Атмосфера простирается вглубь на 1000 км. Наиболее вероятно, что плотность водорода постоянно увеличивается от верхних слоев к центру, пока он не переходит в жидкое состояние. Около центра планеты давление и температура могут быть настолько высокими, что сжимают водород до чрезвычайно плотного состояния, называемого жидким металлическим водородом. В ядре температура может достигать 30 000 К, что объяснило бы наблюдаемый факт примерно двукратного превышения теплового излучения Юпитера по сравнению с получаемой от Солнца энергией.

Планета обладает сильным магнитным полем и сложной системой больших мощных радиационных поясов, некоторым образом похожих на радиационные пояса Земли, которые могут быть причиной части наблюдаемого радиоизлучения Юпитера.

Магнитное поле Юпитера явно двухполюсное, но обратное по сравнению с земным (стрелка компаса на Юпитере показывала бы на юг). Его источником, вероятно, являются электрические токи в слое жидкого водорода. В верхних слоях облаков напряженность магнитного поля Юпитера превосходит напряженность земного магнитного поля от 1,5 до 7 раз. Размеры гигантской юпитерианской магнитосферы меняются, видимо, из-за изменений давления солнечного ветра. Она может вытягиваться в направлении Солнца на 15 млн. км и в противоположную сторону почти на 690 млн. км, иногда выходя за орбиту Сатурна.

Атмосфера Юпитера особенно интересна тем, что она может быть схожа с первичной земной атмосферой.

Каков состав атмосферы Юпитера?

Она в основном состоит из водорода и гелия со следами метана, аммиака, водяного пара и других газов.

15. Вокруг Юпитера обращаются 16 известных в настоящее время *спутников* (см. Приложение 5). Большинство из них имеют небольшие размеры.

Маленькая *Амальтея* напоминает темно-красный мяч для игры в регби. Ее удлиненное тело носит следы метеоритных ударов.

Разноцветный спутник *Ио* — наиболее геологически активный внеземной мир из всех известных. Действующие вулканы, по всей видимости, выбрасывают богатые серой материалы, которые и окрашивают различные районы поверхности *Ио* в ~~красный~~, оранжевый, коричневый, голубой, черный и белый цвета.

На расстоянии орбиты *Ио* вокруг Юпитера движется гигантское облако заряженных частиц, в основном ионов серы и кислорода. Эти частицы, вероятно, образуются при вулканических извержениях на *Ио*.

Облако заряженных частиц может также двигаться вдоль силовых линий магнитного поля Юпитера в направлении северных и южных полярных районов, вызывая «бриллиантовые» юпитерианские *полярные сияния*, которые наблюдались аппаратами «Вояджер-1 и -2».

Существуют доказательства наличия воды на поверхности *Европы*, *Ганимеда* и *Каллисто*. *Европа* примерно такого же размера и плотности, как и наша Луна, и самая яркая из галилеевых спутников. Ее гладкая ледяная кора иссечена длинными, похожими на разломы, линиями. Ганимед и Каллисто могут на 50% состоять из воды, смешанной с твердыми породами. *Ганимед* — самый большой спутник планеты в Солнечной системе, его диаметр 5276 км. На поверхности Ганимеда встречаются темные, по-видимому, древние области с множеством кратеров, похожих на лунные. Имеются также более молодые и светлые районы, пересеченные разломами, образованными поздней тектонической активностью.

Поверхность *Каллисто* выглядит самой древней, с большим количеством ударных кратеров. Ее возраст может быть более 4 млрд. лет. Интересные структуры, напоминающие остатки больших бассейнов, видимо, являются летописью столкновений с большими железокламенными глыбами.

- (a) Какой спутник самый большой в Солнечной системе?
(b) Каков его диаметр?
-

(a) Ганимед; (b) 5276 км.



Рис. 9.19. Сатурн со спутниками (фото «Вояджера-1»).

16. *Сатурн*, самая далекая из планет, видимых с Земли невооруженным глазом, был назван в честь римского бога посевов, покровителя земледелия.

Как и Юпитер, Сатурн — это многослойный шар с постепенным переходом от жидкости к газу, состоящий в основном из водорода и гелия, вероятно, с относительно небольшим железосиликатным ядром. Его динамичная атмосфера также имеет пояса и зоны. Детали, цвет и неоднородности различимы хуже, чем на Юпитере, по причине очень толстого слоя тумана над его видимыми облаками. Из-за быстрого осевого вращения Сатурн сплюснут у полюсов. Подобно Юпитеру, он является источником радиоизлучения.

На экваторе Сатурна дуют ветры с огромными скоростями свыше 600 км/ч — это намного больше, чем на Юпитере. Вблизи верхней границы облаков температура около 86 К, а в центре экваториальной зоны она доходит до 92 К. Там полыхают молнии и сверкают полярные сияния.

Сатурн окружают ослепительные *кольца*. Хотя они простираются более чем на 65 000 км, толщина их всего лишь несколько километров. Сквозь них даже можно видеть звезды. Кольца, вероятно, состоят из частиц размером от долей миллиметра до нескольких метров; они напоминают снежные комья или же покрытые льдом камни, которые движутся по орбитам вокруг Сатурна

ТАКОУ
ГОСТ АНОВ



Рис. 9.20. Фотографии Сатурна с Земли при различной ориентации колец.

Рис. 9.21. Кольца Сатурна (фото «Вояджера-1»).

и светят отраженным солнечным светом. По мере того как Земля и Сатурн обращаются вокруг Солнца, мы видим кольца по-разному в зависимости от их ориентации.

Названия присваивались кольцам по мере их открытия. В порядке удаления от планеты они известны как *D*, *C*, *B*, *A*, *F*, *G* и *E*. Кольца *A*, *B* и *C*, наблюдаемые даже в небольшой телескоп, состоят из сотен тонких колечек. Кольцо *F*, открытое станцией «Пионер-11» в 1979 г., включает в себя три отдельных колечка, которые переплетены друг с другом. В 1980 г. «Вояджер-1» подтвердил существование колец *D* и *E* и открыл кольцо *G*. Длинные спицевидные образования в кольце *B* представляют собой, по-видимому, небольшие блестящие частицы, ориентированные в пространстве электростатическими силами.

Кольца Сатурна могут быть либо частицами материала несформировавшегося спутника, либо, наоборот, остатками разрушенного спутника. *Предел Роша* — это минимальное расстояние спутника от планеты, при котором он еще не разрушается ее гравитационными силами. Кольца расположены ближе к Сатурну, чем этот минимум, т. е. они находятся внутри предела Роша.

Сатурн, имея массу, равную примерно 95 земным массам, и объем, более чем в 758 раз превышающий объем Земли, обладает самой низкой средней плотностью по сравнению с другими

планетами. Если бы существовал такой огромный океан, в котором бы поместился Сатурн, то он мог бы в нем плавать.

Размер магнитосферы Сатурна составляет примерно $\frac{1}{3}$ от ~~магнитосферы~~ Юпитера; она также изменяется в зависимости от интенсивности солнечного ветра. Магнитосфера простирается в направлении Солнца примерно на 2 млн. км. Магнитное поле увлекает за собой заряженные частицы, и они обращаются вокруг Сатурна по мере его осевого вращения.

Планету окружает огромное облако нейтральных атомов водорода, расположенное между орбитами Титана и Реи. Внутри этого «бублика» как миниатюрные спутники движутся частицы, излучающие ультрафиолетовые лучи.

(а) Из чего состоят кольца Сатурна?

(б) Можете ли вы объяснить, почему в небольшой телескоп они выглядят сплошными?

(а) По-видимому, это ледяные частицы размером от долей миллиметра до нескольких метров, вращающиеся вокруг планеты и образующие сотни колечек.

(б) Частичек, составляющих кольца, очень много, и они расположены очень далеко от нас. (Вспомните, что далекие галактики также выглядят сплошными, хотя они и состоят из миллиардов отдельных звезд.)

17. Сатурн имеет по крайней мере 22 спутника (см. Приложение 6). После того как ученые изучат многочисленные данные, полученные космическими аппаратами «Вояджер-1 и -2», может быть, будут открыты новые спутники.

Внутренние спутники — *Мимас*, *Энцелад*, *Тетис*, *Диона* и *Рея* — все меньше нашей Луны. Возможно, они состоят в основном из водяного льда. Кроме Энцелада, все они покрыты многочисленными кратерами.

Титан — единственный из известных спутников со значительной атмосферой. Она состоит в основном из азота с углеводородами, такими, как этан, ацетилен, этилен и цианид водорода. Поверхность Титана скрывает плотный туман. Спутник, по-видимому, состоит из твердых пород и льда.

Внешние спутники — *Гиперион* и *Япет* — состоят, по-видимому, в основном из водяного льда. Обращение *Фебы* — обратное.

Новым спутникам, открытым на фотографиях КА «Вояджер», пока даны только условные названия. Постоянные имена утверждаются Международным астрономическим союзом¹. Сей-

¹ В 1982 и 1983 гг. Исполком Международного астрономического союза утвердил следующие новые названия для спутников Юпитера и Сатурна:

Юпитер XIV (1979 J2) Фива, Юпитер XV (1979 J1) Адрастея, Юпитер XVI (1979 J3) Метида;

Сатурн X (1980 S1) Янус, Сатурн XI (1980 S3) Эпиметий, Сатурн XII (1980 S6) Диона В, Сатурн XIII (1980 S13) Телесто, Сатурн XIV (1980 S25) Калипсо, Сатурн XV (1980 S28) Атлас. — Прим. ред.

час помимо орбит мы почти ничего не знаем об этих спутниках. Дальнейшие исследования помогут расширить наши знания. Следите за новостями о строении этих спутников и природе гравитационных взаимодействий между ними и кольцами.

Какой единственный в Солнечной системе спутник имеет значительную атмосферу.

Титан.

18. *Уран* и *Нептун* выглядят как гигантские близнецы. Оба имеют толстый покров водородно-метановых облаков. Из-за громадной удаленности от Земли в настоящее время об этих планетах известно очень мало.

Рис. 9.22. Модель колец Урана.

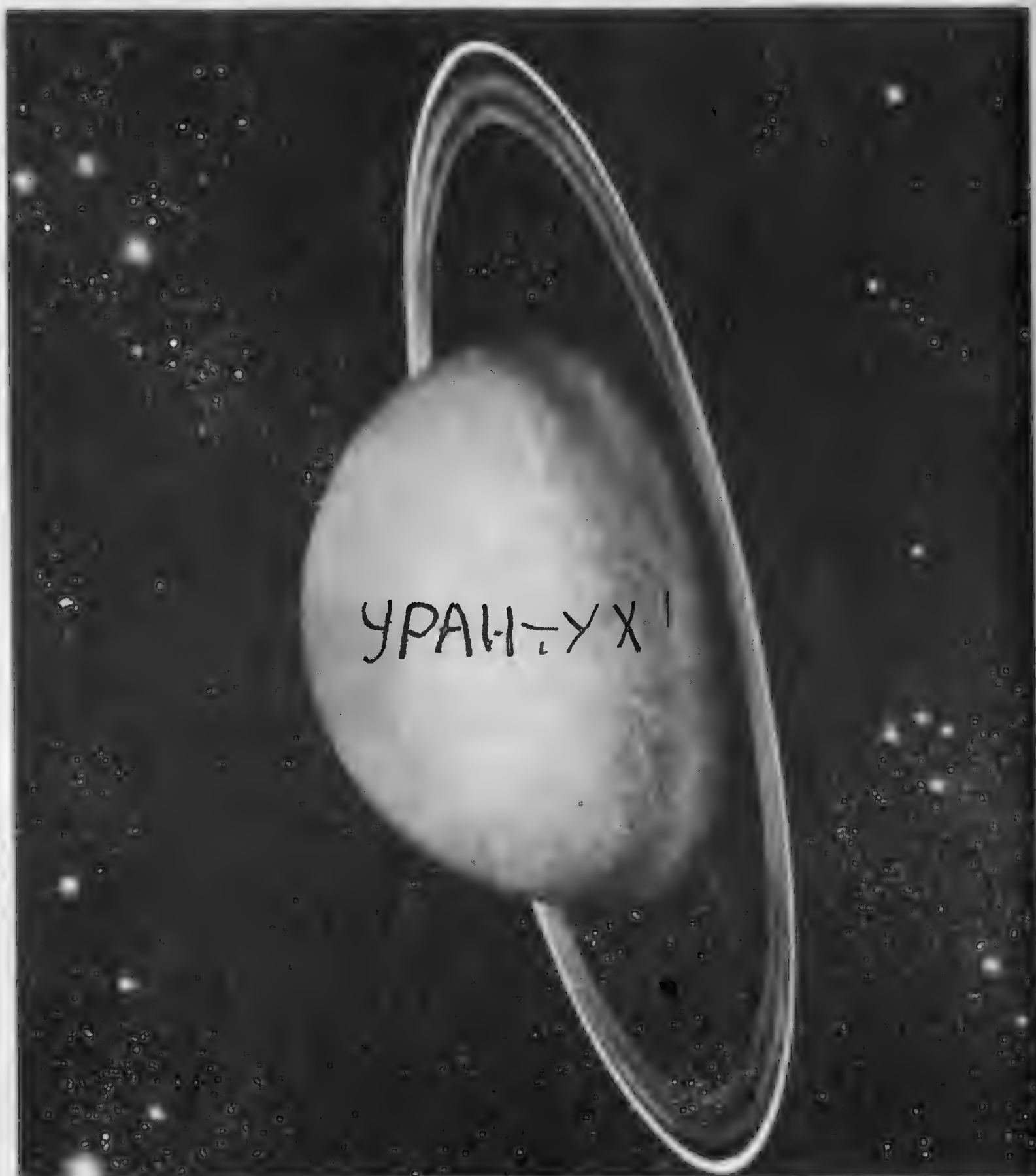




Рис. 9.23. Нептун со спутником.

Уран был первой планетой, открытой с помощью телескопа. Его обнаружил в 1781 г. в Англии Вильям Гершель. Первоначально названный в честь английского короля Георга III, Уран в конечном счете получил все-таки традиционное имя в честь греческого бога.

Максимальная звездная величина Урана $+5,7$, и в телескоп он выглядит небольшим диском (иногда окрашенным в зеленоватый цвет). Вы можете найти его невооруженным глазом или с помощью простейших оптических приборов, если будете точно знать, где он находится (см. список литературы).

Угол между плоскостью экватора планеты и орбитой уникален, так как он равен 98° . Двигаясь вокруг Солнца, Уран как бы лежит на боку. Вокруг своей оси он вращается в обратном направлении.

Уран окружают по меньшей мере девять колец. Следите за новостями об этой планете и ее спутниках, когда в 1986 г. мимо нее пролетит «Вояджер-2».

Открытие Нептуна явилось триумфом теоретической астрономии. Уран не двигался по тому пути, который следовал из расчетов согласно закону Ньютона. Астрономы Джон Адамс в Англии и Урбен Леверье во Франции предположили, что его движение нарушалось притяжением другой планеты. Они предвычислили, где эту неизвестную планету можно найти на небе.

В 1846 г. астроном Иоганн Галле в Берлинской обсерватории навел телескоп в указанное место и обнаружил там Нептун. Планета была названа в честь римского бога моря. У Нептуна имеется два спутника — Тритон (морской бог) и Нереида (морская нимфа) (см. Приложение 6).

Почему открытие Нептуна явилось триумфом теоретической астрономии?

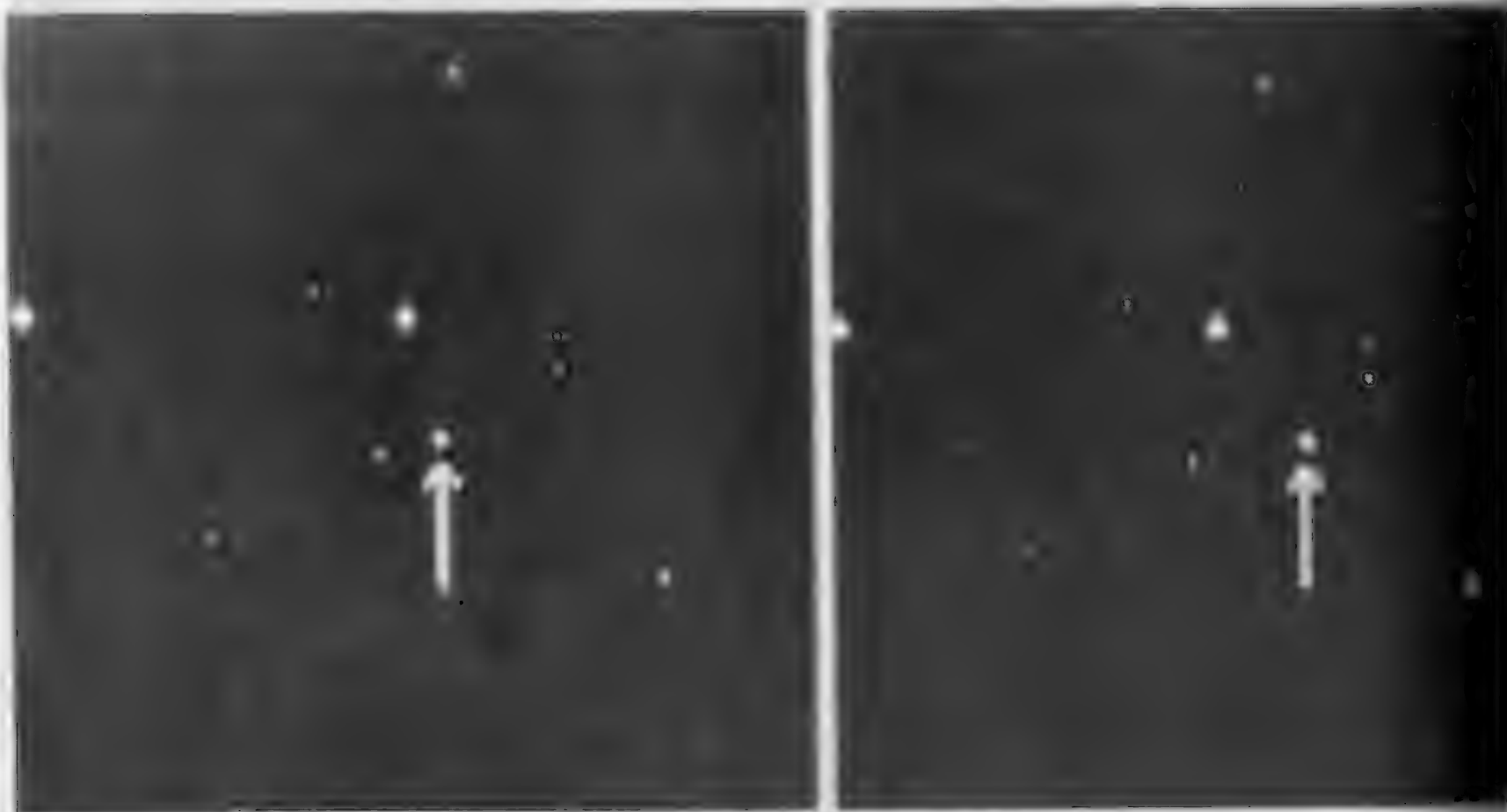
Положение тогда еще неизвестного Нептуна было предвычислено теоретически. Планета была открыта, когда на указанную теорией область неба был наведен телескоп.

19. *Плутон* самая далекая от Солнца и самая таинственная планета. Выглядит он очень слабой звездочкой, максимальная звездная величина которой +14.

К открытию Плутона привели отклонения в движении Урана и Нептуна. Его открыл в 1930 г. американский астроном Клайд Томбо. Возможно, что Плутон — это замерзший безжизненный мир; он назван в честь римского бога, правившего в подземном царстве мертвых.

Все же Плутон светит относительно ярко, так как, по-видимому, солнечный свет отражается от метанового и других льдов, покрывающих его поверхность. Если это так, то Плутон может быть даже меньше, чем думали раньше. Возможно, он не настолько массивен, чтобы быть предполагаемой *планетой Икс*, чье притяжение нарушает движение Урана и Нептуна. Некоторые астрономы все еще надеются найти другую планету Икс.

Рис. 9.24. Две фотографии Плутона, показывающие перемещение планеты за 24 дня.



Из всех планет Плутон обладает наиболее вытянутой орбитой. Временами из-за этого Плутон попадает внутрь орбиты Нептуна, где он, кстати, находится в настоящее время. Планета приближается к Солнцу и достигнет перигелия в 1989 г. До конца века Плутон будет ближе к Солнцу, чем Нептун.

В 1978 г. американский астроном Джеймс Кристи получил фотографии, на которых рядом с изображением Плутона был небольшой выступ, который, по-видимому, появился благодаря спутнику. Он был назван Хароном в честь мифологического перевозчика душ умерших в царство мертвых. Харон находится на расстоянии 17 000 км от Плутона. Он совершает один оборот вокруг Плутона за 6 сут 9 ч. Плутон находится так далеко от Солнца, что он еще не завершил и одного оборота вокруг Солнца со времени его открытия.

Посмотрите на рисунок 9.24. Можете ли вы объяснить, как астрономы определяют, что Плутон не звезда?

Фотографии Плутона, сделанные в разные моменты времени, показывают, как он перемещается на фоне звезд.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал девятой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Подберите название планеты к наиболее известной ее особенности, видимой даже в небольшой телескоп:

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| (a) фазы; | 1. Марс |
| (b) ледяные полярные шапки; | 2. Юпитер |
| (c) Большое Красное пятно; | 3. Сатурн |
| (d) кольца. | 4. Венера |

2. Подберите общие особенности для пар планет:

- | | |
|--|----------------------|
| (a) чередующиеся параллельные темные и светлые полосы облаков; | 1. Меркурий и Венера |
| (b) много кратеров и гор; | 2. Юпитер и Сатурн |
| (c) покрыты толстыми водородными и метановыми облаками. | 3. Уран и Нептун |

3. Укажите три причины, из-за которых посетить Венеру было бы не очень-то приятно.

4. На рисунке 9.25 показаны орбиты Венеры, Земли и Марса вокруг Солнца. Какие буквы на рисунке указывают следующие положения?

- (1) Венера как вечерняя звезда;
- (2) Венера в фазе «новолуния»;

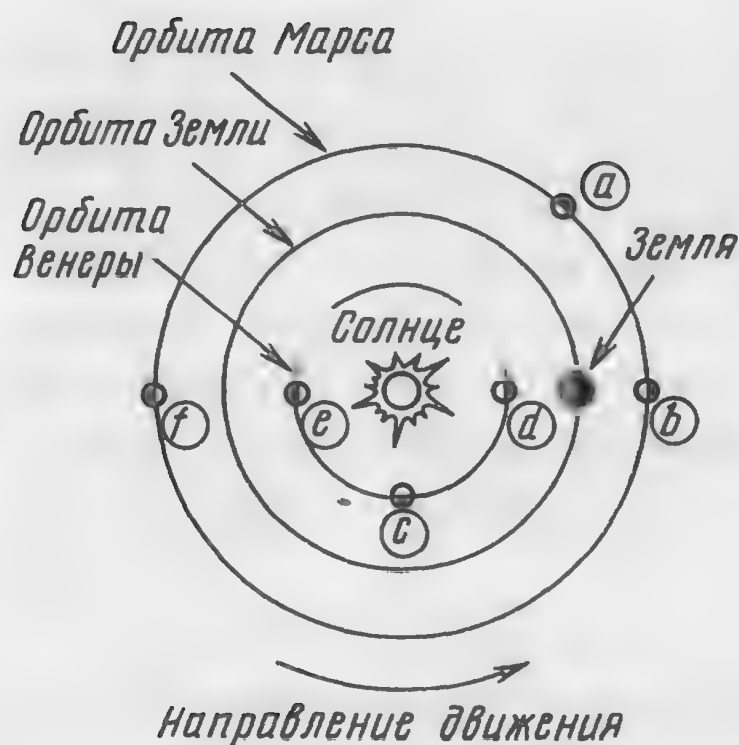


Рис. 9.25. Орбиты Венеры, Земли и Марса вокруг Солнца.

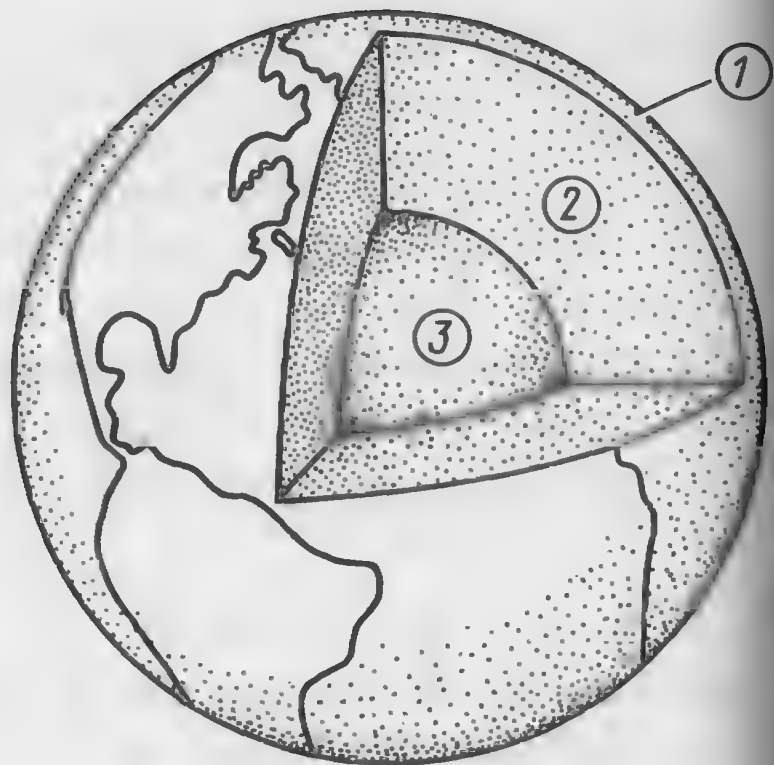


Рис. 9.26. Строение Земли.

- (3) Марс в противостоянии;
- (4) Марс не видим на нашем ночном небе.

5. Назовите три основных слоя Земли (рис. 9.26).

6. Какие три факта подтверждают теорию глобальной тектоники плит (дрейфа континентов)?

7. Опишите наблюдаемый ландшафт, небо и температуру на Марсе в месте посадки спускаемого аппарата «Викинг-1».

8. Какие два факта указывают на то, что на Марсе в прошлом могла течь вода?

9. Укажите наиболее распространенные газы в атмосферах: (а) Земли; (b) Марса; (c) Юпитера; (d) Титана.

10. Сопоставьте планету (или планеты) с последними открытиями:

- (а) кольца;
- (b) спутники;
- (c) борозды и цепочки маленьких кратеров, сфотографированные на одном из двух спутников.

- 1. Марс
- 2. Юпитер
- 3. Сатурн
- 4. Уран
- 5. Плутон

11. Подберите спутник планеты к следующим определениям

(а) самый большой спутник в Солнечной системе;

(b) единственный спутник, обладающий значительной атмосферой;

(c) наиболее геологически активный спутник с действующими вулканами.

- 1. Ганимед (Юпитер)
- 2. Ио (Юпитер)
- 3. Титан (Сатурн)

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильные, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. (a) 4; (b) 1; (c) 2; (d) 3 (разделы 2, 9, 13, 14, 16).

2. (a) 2; (b) 1; (c) 3 (разделы 1, 3, 13, 14, 16).

3. Губительная атмосфера, состоящая из углекислого газа; слишком высокая температура на поверхности (до 480°C); «расплющивающее» атмосферное давление свыше 90 атм (раздел 3).

4. (1) c; (2) d; (3) b; (4) f (разделы 2, 9).

5. (1) кора; (2) мантия; (3) ядро (раздел 5).

6. (1) Сходные растительные и биологические остатки находят вдоль береговых линий Южной Америки и Западной Африки. (2) Симметричные очертания этих береговых линий. (3) Отсутствие в прибрежной зоне дна Атлантического океана пород с возрастом старше 150 млн. лет (раздел 6).

7. Поверхность выглядит как красная, безводная, усеянная камнями пустыня. Небо розовое. Температура низкая (раздел 10).

8. (1) Глубокие извилистые русла, которые выглядят как огромные высохшие реки; (2) вода, замерзшая в полярных шапках (раздел 11).

9. (a) азот ($\sim 78\%$) и кислород ($\sim 21\%$); (b) углекислый газ; (c) водород и гелий; (d) азот (разделы 8, 11, 14, 17).

10. (a) 2, 3, 4; (b) 2, 3, 5; (c) 1 (разделы 12, 15, 17, 19).

11. (a) 1; (b) 3; (c) 2 (разделы 15, 17).

198

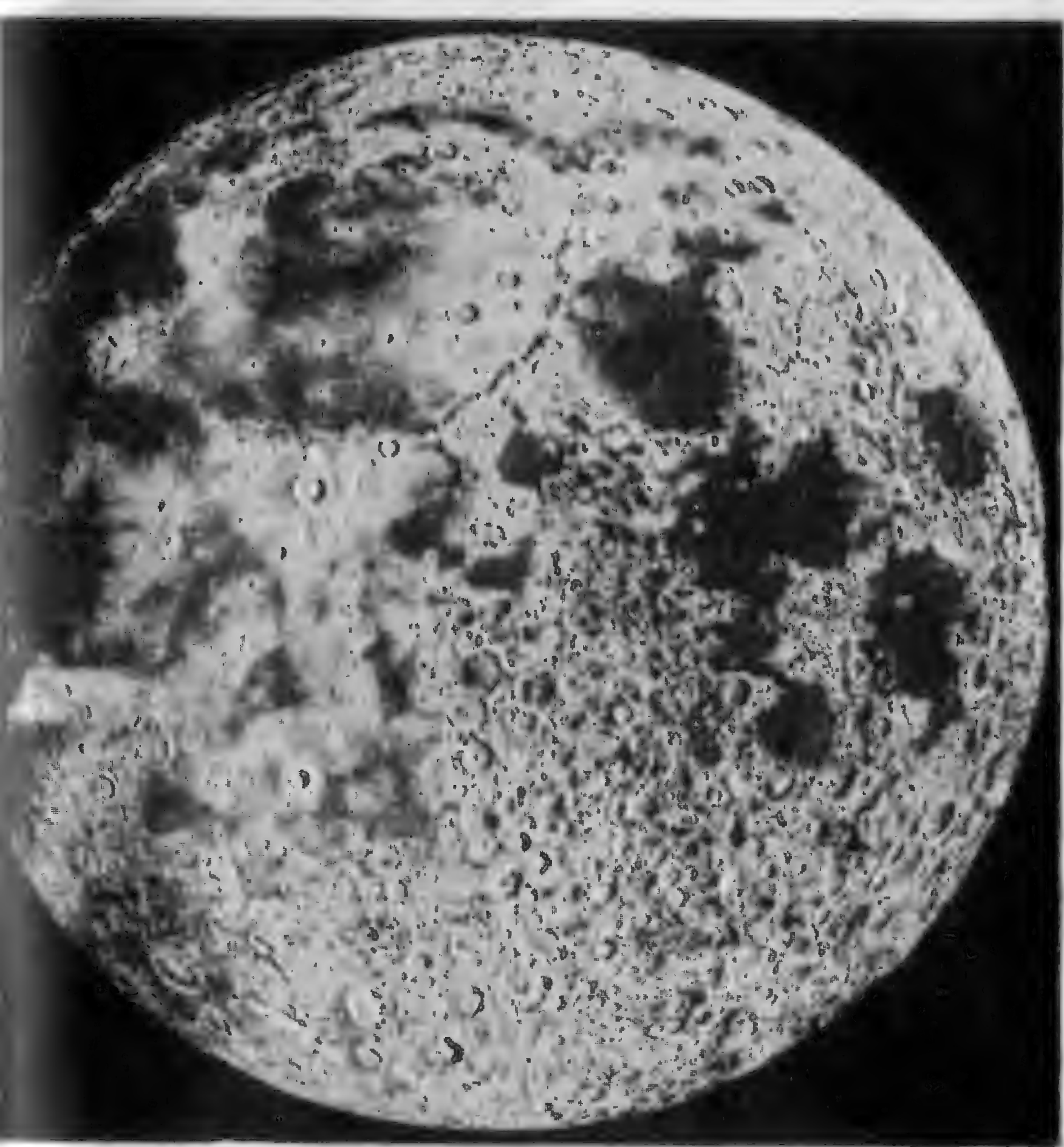


Рис. 10.1. Луна в фазе полнолуния.

Вы заметите, что вследствие суточного вращения Земли Луна каждый день восходит на востоке, движается по небу в *западном направлении* и заходит на западе.

Вы также заметите, что Луна ежедневно изменяет свое положение по отношению к звездам примерно *на 13° к востоку*. Это происходит из-за обращения Луны вокруг Земли и годового обращения вокруг Солнца системы Земля — Луна, как это показано на рисунке 10.2.

Объясните, почему Луна восходит каждый день в среднем на 50 мин позже, чем накануне.



Рис. 10.2. Обращение системы Земля — Луна вокруг Солнца.

В данный день в момент восхода Луна находится в определенном созвездии. Спустя 24 ч, когда Земля завершит один полный оборот вокруг своей оси, это созвездие снова взойдет, но Луна за это время переместится примерно на 13° в восточном направлении по отношению к звездам, и ее восход поэтому наступит на 50 мин позже.

3. Сила притяжения Земли является причиной *синхронного вращения* Луны. Луна делает один оборот вокруг своей оси за 27,3 сут, и такое же количество времени требуется ей для завершения одного оборота вокруг Земли. Из-за этого Луна всегда повернута к Земле одной и той же стороной.

Это означает, что в течение месяца вы наблюдаете всегда одни и те же черты «лунного лица» и никогда не видите ее «затылок».

По всей видимости, совпадение *периода вращения* Луны и *периода ее обращения* не является случайностью, а обусловлено гравитационным действием Земли на Луну.

Почему до того, как советские аппараты облетели Луну и сфотографировали ее обратную сторону, люди могли видеть лишь одну ее половину?

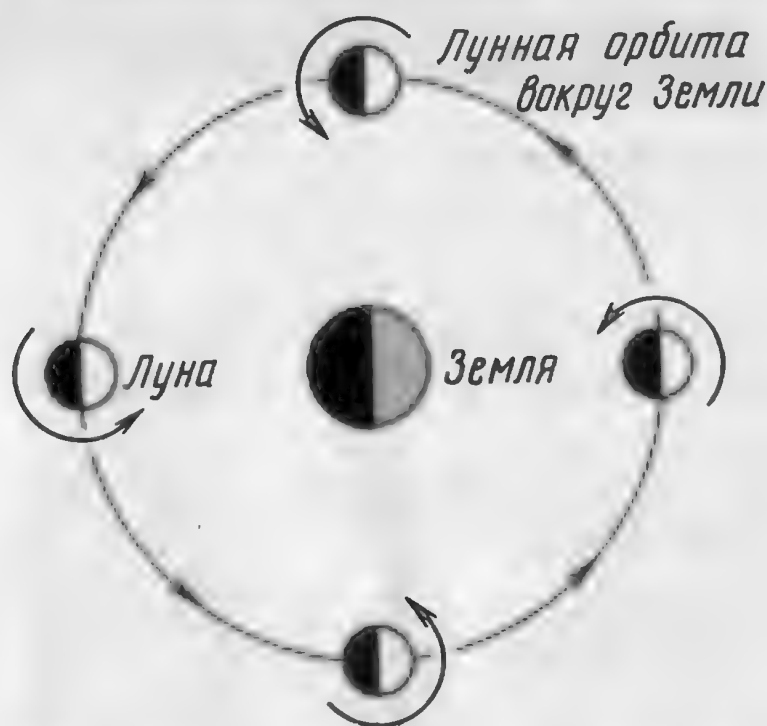


Рис. 10.3. Синхронное вращение Луны.

Период вращения Луны вокруг оси равен периоду ее обращения вокруг Земли, так что она всегда обращена к Земле одной и той же стороной.

4. Вы, наверное, хотите узнать, что является причиной других изменений вида Луны.

Лунное гало, или кольцо вокруг Луны, на самом деле к Луне не имеет никакого отношения. Этот эффект возникает в результате явления *преломле-*

ния, или искривления, лучей света на ледяных кристалликах высоко в атмосфере Земли.

Когда Луна находится низко над горизонтом, она иногда бывает *красной*. В этом случае, прежде чем достигнуть наших глаз, лунный свет проходит большой путь в толще земной атмосферы по сравнению с ее положением в зените. Лунный свет (отраженный солнечный) состоит из всех видимых цветов. Короткие длины волн (синие) *рассеиваются*, а длинные (красные), легко пронизывающие атмосферу, окрашивают Луну в красный цвет.

Как вы думаете, видели ли астронавты «Аполлона» во время пребывания на Луне «кольцо вокруг Земли»? Объясните.

Нет. Лунное гало наблюдается из-за присутствия частичек льда в атмосфере Земли. На Луне нет ни атмосферы, ни воды, чтобы создать на небе иллюзию кольца вокруг Земли.

5. Землю и Луну иногда называют «*двойной планетой*», так как наш спутник необычайно велик по сравнению с размером самой планеты.

Размер Луны может быть найден из измерений ее углового диаметра и расстояния до нее. *Расстояние* до Луны было измерено с фантастической точностью в одну десятимиллиардную долю (несколько сантиметров) с помощью измерения времени, которое нужно лазерному лучу, чтобы достичь отражателя, установленного на Луне, и вернуться обратно.

Диаметр Луны равен 3476 км. Диаметр Земли почти 13 000 км (12 756 км). Сравните размер Луны с размером Земли.

Диаметр Луны равен примерно $\frac{1}{4}$ земного.

Решение: $\frac{\text{диаметр Луны (округленно 3500 км)}}{\text{диаметр Земли (округленно 13 000 км)}} \approx \frac{1}{4}$.

6. *Масса Луны*, измеряемая по ускорению, которое она сообщает космическим аппаратам, равна $7,35 \cdot 10^{25}$ г, или около $\frac{1}{81}$ массы Земли.

Средняя плотность Луны равна $3,34 \text{ г/см}^3$, или около $\frac{3}{5}$ плотности Земли.

Сила тяжести на поверхности Луны из-за ее маленькой массы составляет только примерно $\frac{1}{6}$ от земной. Это означает, что 84-килограммовый астронавт на Луне весит только 16 кг ($\frac{1}{6}$ земного веса).

Предложите объяснение меньшей средней плотности Луны по сравнению с земной.

По всей вероятности, планета и спутник имеют различный состав. (Лунные породы, взятые к настоящему времени на Луне, имеют тот же самый химический состав, что и земные, но относительное содержание различных элементов в них несколько иное.)

7. Вспомните основные характеристики Луны, которые вы узнали, и заполните следующую таблицу (таблица 10.1). Если это необходимо, обратитесь к разделам 8.1 и 8.6.

Таблица 10. 1. Основные характеристики Луны

Параметры	Значение
(a) среднее расстояние от Земли (b) диаметр (c) сидерический период (по отношению к неподвижным звездам) (d) синодический период (смена фаз) (e) период вращения (f) масса (g) средняя плотность (h) сила тяжести на поверхности (i) альбедо (j) видимая звездная величина полной Луны (k) средняя скорость движения по орбите	

(a) 384 404,377 км; (b) 3476 км, или $\frac{1}{4}$ земного; (c) 27,3 сут, или, точнее, $27^d 07^h 43^m 11^s$; (d) 29,5 сут ($29^d 12^h 44^m 02^s,9$); (e) 27,3 сут; (f) $7,35 \cdot 10^{25}$ г, или $\frac{1}{81}$ земной; (g) $3,34 \text{ г/см}^3$; (h) $\frac{1}{6}$ земной; (i) 0,07; (j) $-12,5$; (k) 3693 км/ч ($1,02 \text{ км/с}$).

8. Луна долго была любимым объектом наблюдений в *небольшие телескопы*, потому что она достаточно близка и на ней можно видеть множество деталей.

Когда Галилей впервые навел свой телескоп на Луну, он по ошибке принял увиденные им большие темные области за водные пространства и назвал их *морями*.

Экспедиции «Аполлонов» не обнаружили на Луне ни малейших признаков воды. Лунные моря, часто имеющие примерно круговую форму, на самом деле являются застывшими лавовыми излияниями.

Поверхность морей состоит из *базальтов*, которые образуются при застывании вулканической лавы. Море Дождей — самое большое море на видимой стороне Луны, его диаметр около 1100 км.

Светлые участки Луны называются *материками*. Это по сравнению с морями более возвышенные, более неровные и более древние районы Луны.

Что представляют собой моря, образующие своими очертаниями «лунное лицо»?

Застывшие лавовые излияния.

9. Вы можете увидеть, что поверхность Луны усеяна кратерами (см., например, рис. 10.5).

Типичные кратеры имеют круглую форму. Размер их колеблется от маленьких оспинок до огромных круглых бассейнов, имеющих в поперечнике сотни километров; высота валов вокруг них может достигать трех километров. По традиции кратеры называют в честь известных ученых и философов, например Коперника и Платона. Большинство кратеров образовалось, по-видимому, в результате ударов о поверхность Луны летевших с большой скоростью метеоритов. Самые большие кратеры, такие, как Клавий, имеющий в поперечнике 240 км, раньше называли *цирками*. Самые маленькие называют *кратерочками*.

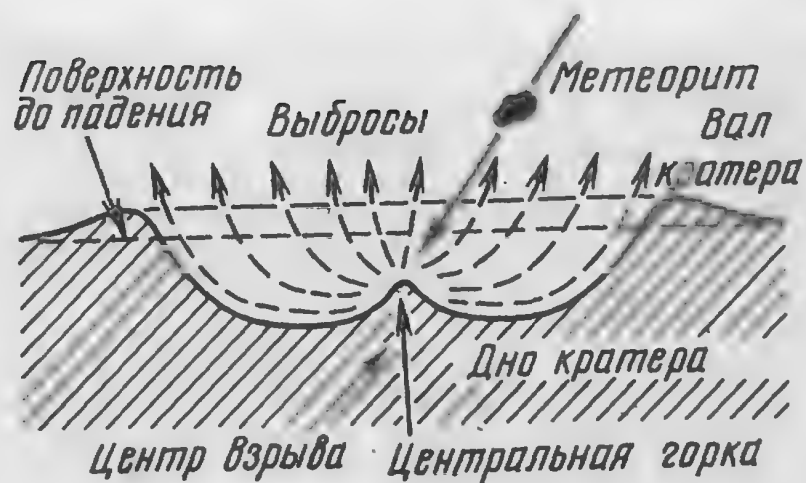


Рис. 10.4. Образование кратера в результате падения метеорита.

Рис. 10.5. Участок обратной стороны Луны.

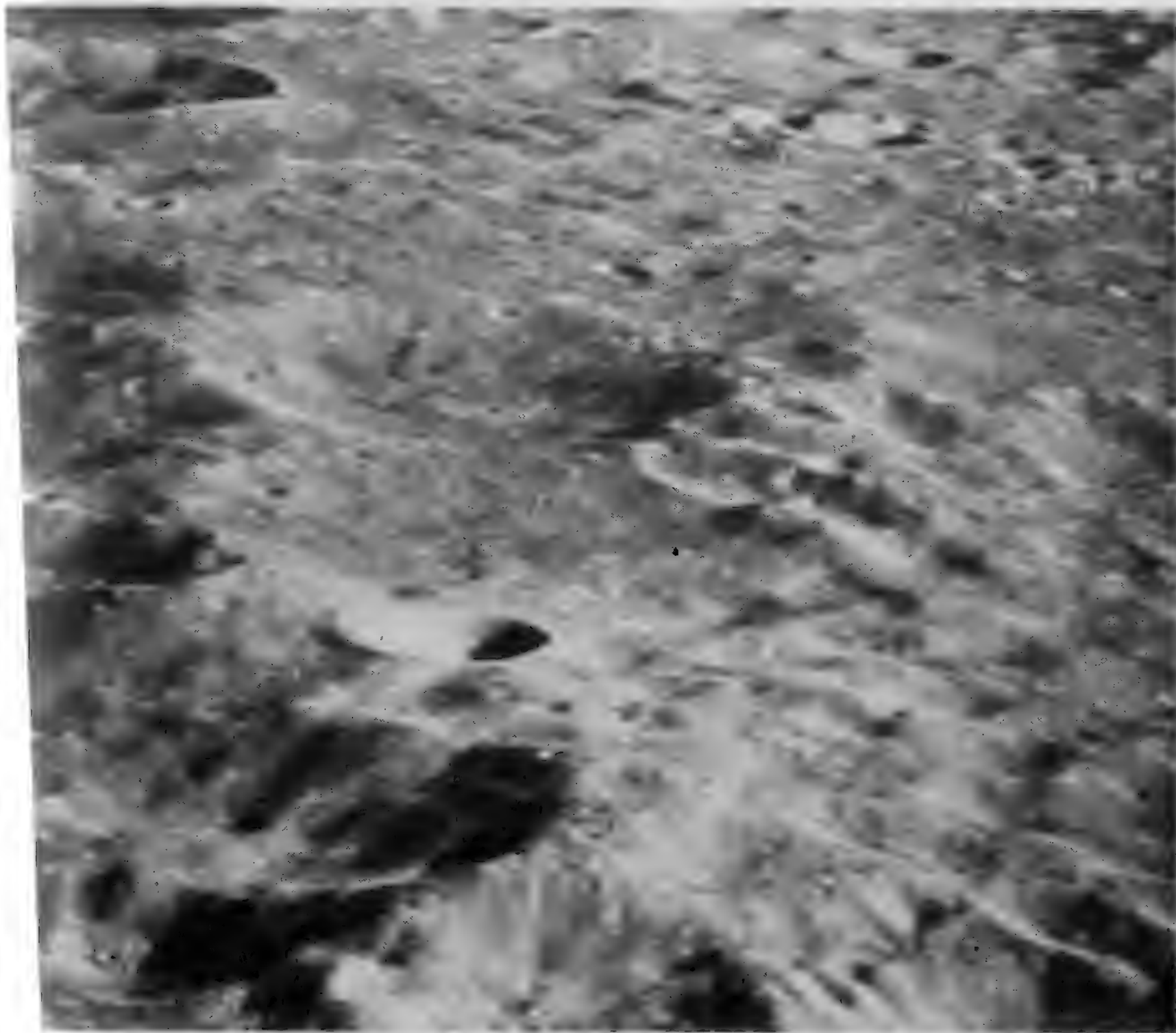




Рис. 10.6. Астронавт на Луне.

Кратеры лучше всего наблюдать в бинокли или телескопы, когда они находятся около линии, называемой *терминатором*, которая является границей дня и ночи на Луне.

Фотографии с космических аппаратов показывают, что на обратной стороне Луны нет больших морей. Причина наблюдаемых различий между видимым и обратным полушариями Луны еще до конца не понята.

Что является наиболее вероятной причиной образования большинства лунных кратеров?

Врезающиеся в поверхность метеориты.

10. Когда американский астронавт Нейл Армстронг 20 июля 1969 г. впервые ступил на поверхность Луны, он попал в незнакомый, необитаемый мир.

Оказалось, что поверхность морей Луны покрыта базальтами,

или застывшей лавой. Выяснилось, что материковые породы старше морских. В породах, взятых астронавтами «Аполлонов» и советскими автоматическими станциями серии «Луна», не было обнаружено ни воды, ни окаменелых организмов, ни каких-либо органических соединений. Это отсутствие любых признаков жизни служит доказательством того, что Луна всегда была безжизненной.

На Луне нет голубого неба, нет ветра и облаков, потому что на Луне нет заметной атмосферы. Там царит мертвая тишина — в отсутствие воздуха не передаются звуки.

Дни и ночи длинные — они длятся по четырнадцать земных суток. Температура поверхности на экваторе изменяется примерно от $+130^{\circ}\text{C}$, когда Солнце находится в самом высоком положении на небе, до -170°C ночью.

Почему было бы полезно поместить на Луне большой оптический телескоп?

В отсутствие ветра и воздуха на Луне качество изображения всегда будет отличным (раздел 2.21).

11. Микрометеориты, маленькие каменные и металлические частички, которые врезаются в Луну со скоростью до

Рис. 10.7. След Нейла Армстронга на Луне.



110 000 км/ч, являются основным источником эрозии лунной поверхности.

Размер типичных микрометеоритов составляет от 1/10 000 до 1/1000 см. С Луной сталкиваются и большие метеориты. Эффективность воздействия микрометеоритов на лунную поверхность примерно в 10 000 раз меньше, чем влияние воздуха и воды на Земле. За миллион лет микрометеориты перемешивают лишь 1 мм поверхностного грунта.

Объясните, почему существует большая вероятность того, что первый отпечаток ноги Нейла Армстронга на Луне через миллионы лет будет выглядеть точно так же, как и в 1969 г. (рис. 10.7)?

Эрозия на Луне происходит преимущественно за счет бомбардировки микрометеоритами, и она протекает намного медленнее, чем земная водная и ветровая эрозия.

12. Горы на Луне названы в честь больших горных массивов нашей планеты, как, например, Альпы.

Лунные горы отличаются от земных как по химическому составу, так и по внешнему виду. Вероятно, они образованы под воздействием различных сил.

Самые высокие горные пики на Луне, подобно высочайшей земной вершине Эвересту, возвышаются более чем на 8000 м.

Какие два основных фактора, постоянно изменяющие форму земных гор, не принимают участия в формировании лунных гор?

Вода и атмосфера. Ничто не сглаживает эти хребты. Никакие атмосферные бури не проносятся над поверхностью.

13. На основе данных, полученных с помощью космических экспериментов, учеными была установлена история развития Луны.

Самые древние лунные породы, доставленные из материковых районов, имеют возраст около 4,3 млрд. лет. Возраст небольших зеленых фрагментов пород достигает даже 4,6 млрд. лет. Самые молодые из морских районов образовались примерно 3,1 млрд. лет назад. По сравнению с земными породами лунные богаче одними минералами и беднее другими. Это подвергает сомнению теорию, которая утверждает, что Луна в прошлом была частью Земли, а затем оторвалась от нее.

Вопрос о том, как и где возникла Луна, остается пока загадкой. Вероятнее всего, она образовалась в результате слипания многих маленьких частичек солнечной туманности.

В течение первого миллиарда лет своей жизни молодая Луна подвергалась интенсивной бомбардировке метеоритами различных размеров. Они образовали большие кратеры и расплавили

верхний слой поверхности, который теперь является *лунной корой*.

Когда возраст Луны был примерно 1 млрд. лет, ее недра были настолько разогреты *радиоактивными элементами*, что вулканы выбрасывали огромные потоки горячей базальтовой лавы на поверхность и затопляли кратеры. Эта расплавленная лава затвердевала, образуя моря.

Около 3 млрд. лет назад температура Луны значительно снизилась и вулканическая активность в больших масштабах прекратилась. С тех пор Луна практически не изменялась, если не считать некоторые появившиеся позже лавовые излияния и относительно небольшое число крупных ударных кратеров, подобных молодому кратеру Коперник (возраст около миллиарда лет). *Сейсмометры* (приборы, регистрирующие землетрясения), оставленные на Луне астронавтами «Аполлонов», зафиксировали лунотрясения, которые оказались очень слабыми.

Чем отличается история лунной геологической активности от земной?

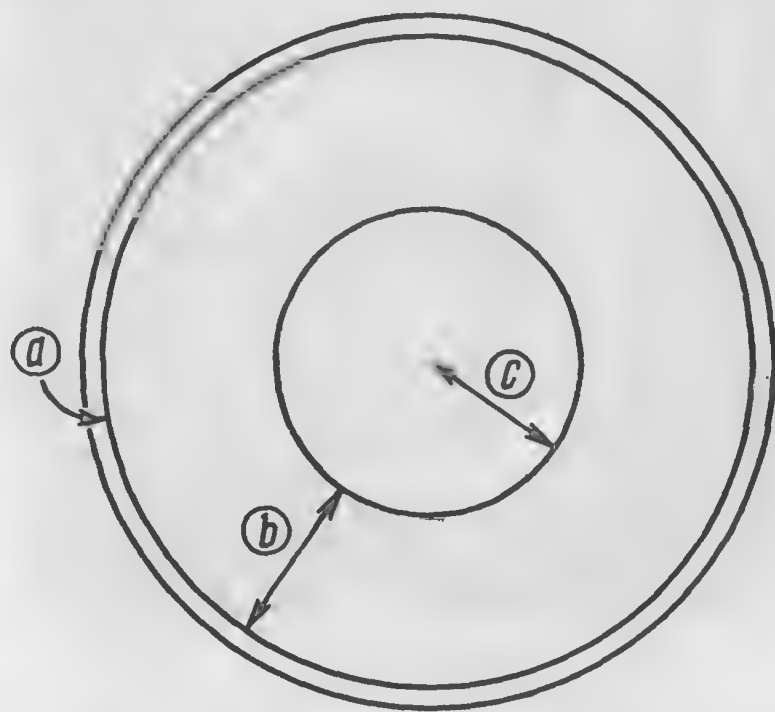
Через 2 млрд. лет после своего образования Луна стала геологически мертвым небесным телом, в то время как на Земле действуют вулканы, происходят горообразование и дрейф континентов.

14. На основе собранных данных геологи моделируют *внутреннее строение Луны*. Под крупными морями были обнаружены *масконы* (концентрация масс). Наличие масконов плюс отсутствие сильных лунотрясений предполагает, что Луна обладает холодным, твердым, толстым внешним слоем, или *корой*, толщиной около 60 км.

Под корой на глубину примерно 1000 км простирается *мантия*. Физические характеристики *ядра Луны* (радиус 700 км) все еще неизвестны. Температура ядра, вероятно, около 1500 К, и оно частично расплавлено.

В настоящее время у Луны нет магнитного поля. Но древние лунные породы указывают на то, что когда-то оно существовало.

Найдите на рисунке 10.8 кору, мантию и ядро и укажите примерную толщину каждого из слоев.



(a) кора (60 км); (b) мантия (1000 км); (c) ядро (700 км).

Рис. 10.8. Лунные недра.

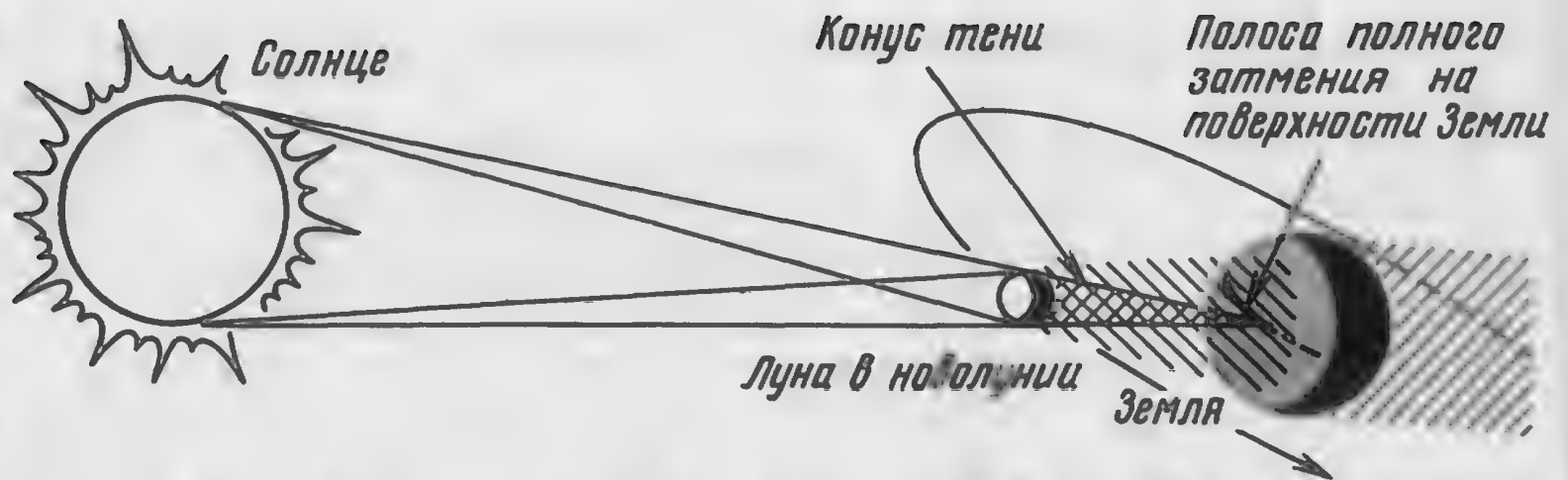


Рис. 10.9. Солнечное затмение (масштаб не соблюден).

15. В будущем ожидается продолжение исследований Луны. Многие сведения, полученные «Аполлонами» и «Лунами», нуждаются в дальнейшей обработке. Приборы «Аполлонов», оставленные на поверхности Луны, передавали информацию до 1977 г., когда НАСА приняло решение окончательно их выключить. Когда-нибудь ученые смогут вернуться на поверхность Луны для дальнейших исследований.

Кратко опишите, что мы знаем о поверхности Луны в настоящее время.

Вы должны упомянуть о морях, кратерах, горных цепях, отсутствии воздуха и воды, продолжительности дня и ночи и температуре поверхности.

16. Солнечные затмения происходят в тех случаях, когда Земля, Луна (в новолуние) и Солнце выстраиваются по одной прямой.

Затмение будет полным, если Луна находится на меньшем расстоянии от Земли, чем длина конуса ее тени. В этом случае она выглядит на небе больше Солнца и полностью закрывает от нас его диск.

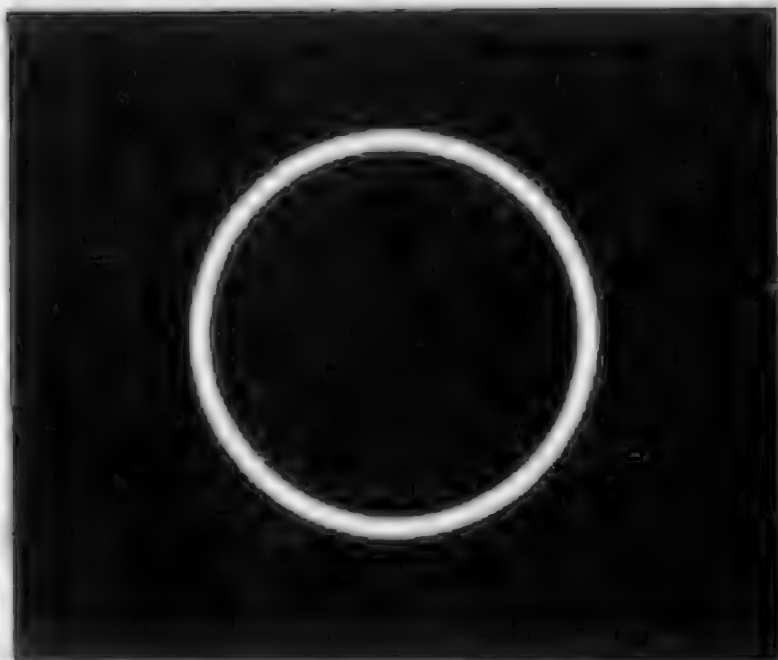


Рис. 10.10. Кольцеобразное солнечное затмение.

Кольцеобразное затмение происходит тогда, когда Луна находится на большем расстоянии от Земли, чем длина конуса ее тени. Она выглядит меньше Солнца и закрывает от нашего взора все, кроме тоненького колечка.

Частное затмение происходит чаще всего. Оно наступает, когда Луна не полностью закрывает солнечный диск, так как находится на некотором расстоянии от линии Солнце Земля.

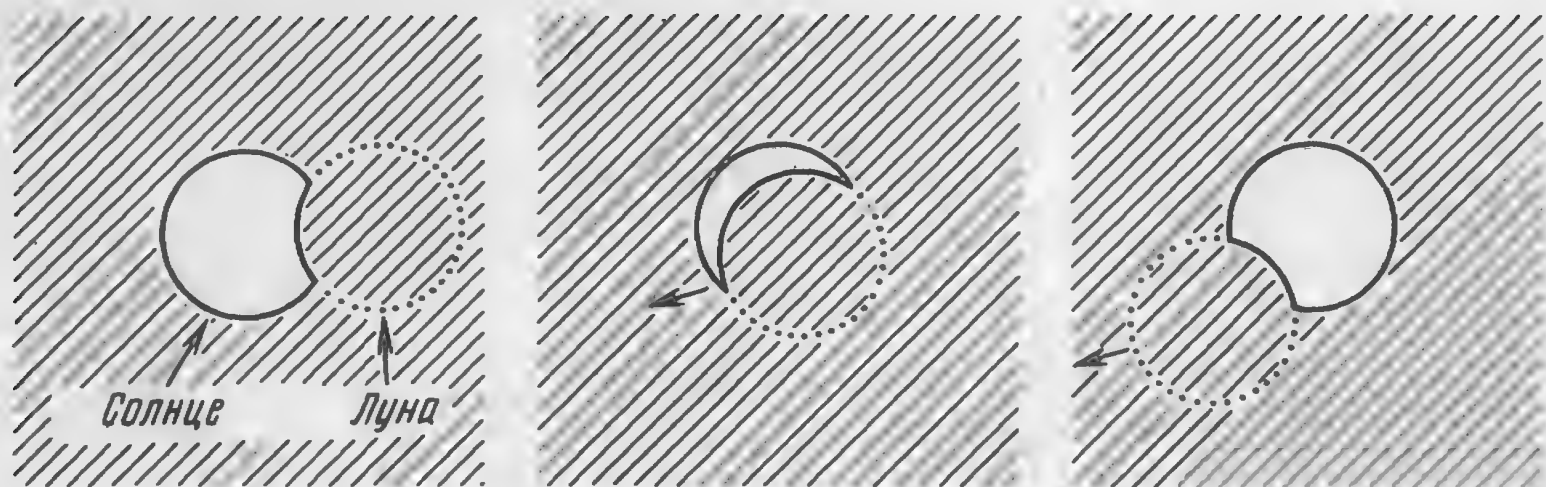


Рис. 10.11. Частное солнечное затмение.

Полное солнечное затмение — зрелище очень впечатляющее. Когда Луна проходит перед диском яркого Солнца, по небу разливается неестественная тьма, температура падает и в дневное время на небе появляются звезды и планеты.

Полное затмение продолжается всего лишь несколько минут и может наблюдаться лишь в узкой *полосе затмения* на поверхности Земли. Ваши шансы увидеть полное солнечное затмение из города, в котором вы живете, очень невелики, так как затмение в одном и том же месте происходит в среднем один раз в 360 лет.

Одно время считалось, что с исчезновением Солнца в момент затмения связаны какие-то странные события. Сегодня профессиональные астрономы и любители ездят по всему миру, чтобы наблюдать полные солнечные затмения и получать новые астрономические данные. Любители астрономии имеют возможность присоединиться к экспедиции по наблюдению затмения, чтобы самостоятельно увидеть это величественное явление природы. О наиболее интересных предстоящих затмениях вы сможете узнать из таблицы 10.2.

Таблица 10. 2. Полные солнечные затмения

Дата	Продолжительность полной фазы затмения (в мин)	Где будет видно
29 марта 1987 г.	0,3	Центральная Америка
18 марта 1988 г.	4,0	Филиппины, Индонезия
22 июля 1990 г.	2,6	Финляндия, СССР, Арктика
11 июля 1991 г.	7,1	Гавайи, Центральная Америка, Бразилия
30 июня 1992 г.	5,4	Южная Атлантика
3 ноября 1994 г.	4,6	Южная Америка
24 октября 1995 г.	2,4	Южная Азия
9 марта 1997 г.	2,8	СССР, Арктика
26 февраля 1998 г.	4,4	Центральная Америка
11 августа 1999 г.	2,6	Центральная Европа, Центральная Азия

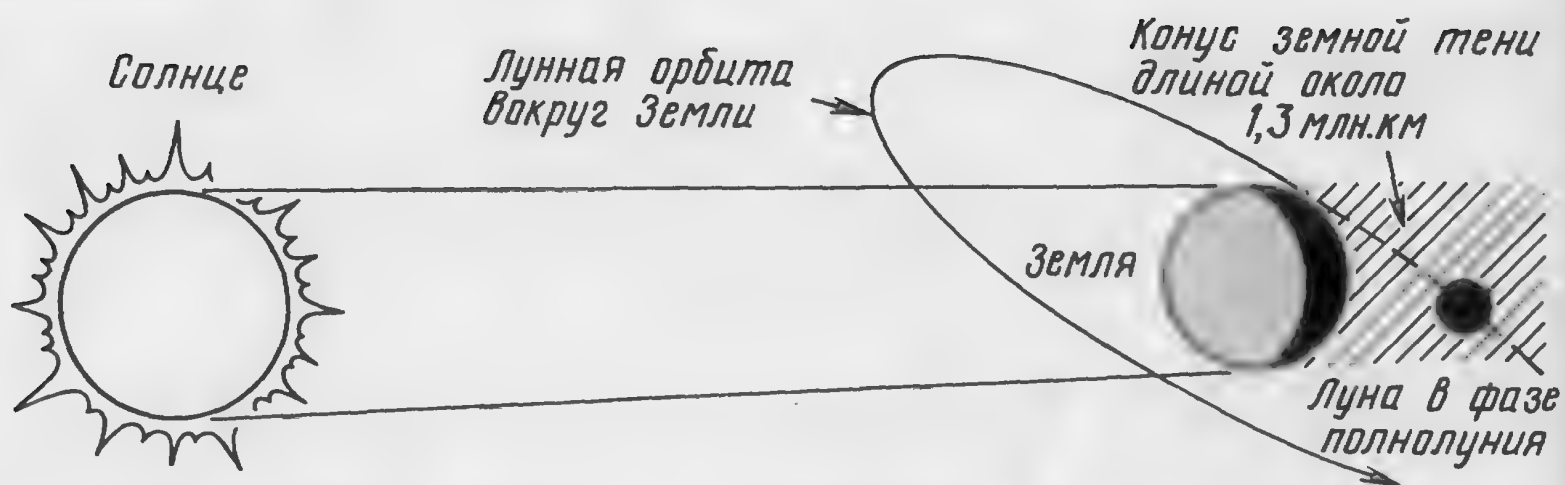


Рис. 10.12. Лунное затмение (масштаб не соблюден).

В какой фазе должна быть Луна, чтобы произошло солнечное затмение?

В фазе новолуния.

17. *Лунное затмение* происходит в полнолуние, когда Солнце, Земля и Луна находятся точно на одной линии.

Когда Луна попадает в земную тень, она начинает темнеть, но все-таки мы ее видим, так как она получает немного солнечного света, который преломляется в земной атмосфере. Цвет Луны (обычно тускло-красный) и ее яркость зависят от облачности, запыленности и загрязненности атмосферы Земли.

По сравнению с наблюдением солнечного затмения ваши шансы увидеть полное лунное затмение намного выше. Когда наступает лунное затмение, то его можно видеть в любом месте Земли, где Луна находится над горизонтом; оно может продолжаться около часа.

Найдите самостоятельно даты ближайших лунных затмений в астрономических календарях (см. список литературы).

Более двух тысячелетий назад греки заметили, что во время лунных затмений земная тень, появляющаяся на Луне, имеет круглую форму. Аристотель (384—322 гг. до н. э.) использовал этот факт для подтверждения идеи о шарообразности Земли. Первое довольно точное измерение диаметра Земли было выполнено греческим астрономом Эратосфеном (276—195 гг. до н. э.).

Хотя астрономы и не придают лунным затмениям большой научной значимости, наблюдать их довольно интересно.

В какой фазе должна быть Луна, чтобы произошло лунное затмение?

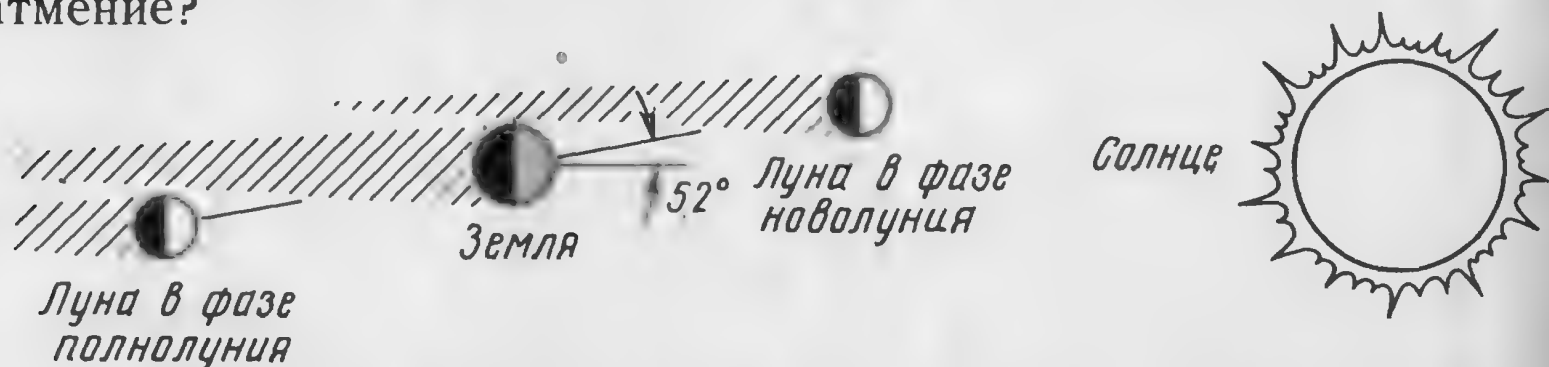


Рис. 10.13. Неблагоприятные условия для наступления затмений.

В фазе полнолуния.

18. Максимальное число солнечных и лунных затмений, которые могут произойти в течение одного года, равно семи.

Затмения не происходят каждый раз в новолуние или полнолуние, как можно было бы ожидать. Плоскость орбиты Луны наклонена на угол в $5,2^\circ$ к плоскости земной орбиты.

Большее число раз в полнолуние или в новолуние Луна проходит выше или ниже линии Солнце — Земля, так что затмения не происходят.

Рассмотрите рисунок 10.14. Объясните, почему затмение может произойти только тогда, когда Луна находится в точках А и В.

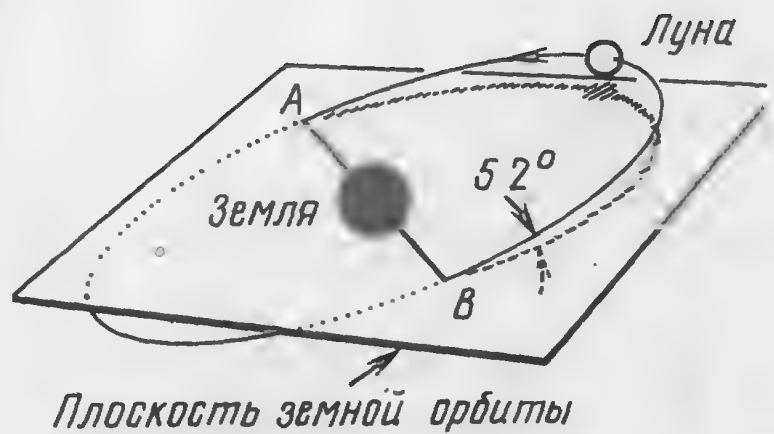


Рис. 10.14. Взаимное расположение плоскости лунной орбиты и плоскости орбиты Земли.

В эти моменты Солнце, Земля и Луна находятся на одной линии.

19. *Покрытие* — это затмение одного небесного тела другим, например затмение звезды или планеты Луной на короткое время при прохождении Луны перед ними. Это явление представляет интерес для наблюдения радиоисточников и точного определения их местоположения на небе.

Юпитер более чем в 40 раз больше Луны. Почему же тогда происходят покрытия Юпитера Луной?

Юпитер гораздо дальше Луны, поэтому его угловые размеры намного меньше.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал десятой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Почему с Земли всегда видно только одну сторону Луны?

2. Какую часть составляют следующие лунные параметры по сравнению с земными:

(а) диаметр; (б) масса; (с) средняя плотность; (д) сила тяжести на поверхности?

3. Подберите соответствующие названия для образований лунной поверхности:

(а) безводные лавовые равнины; 1. Кратеры
(б) углубления на поверхности; 2. Материки

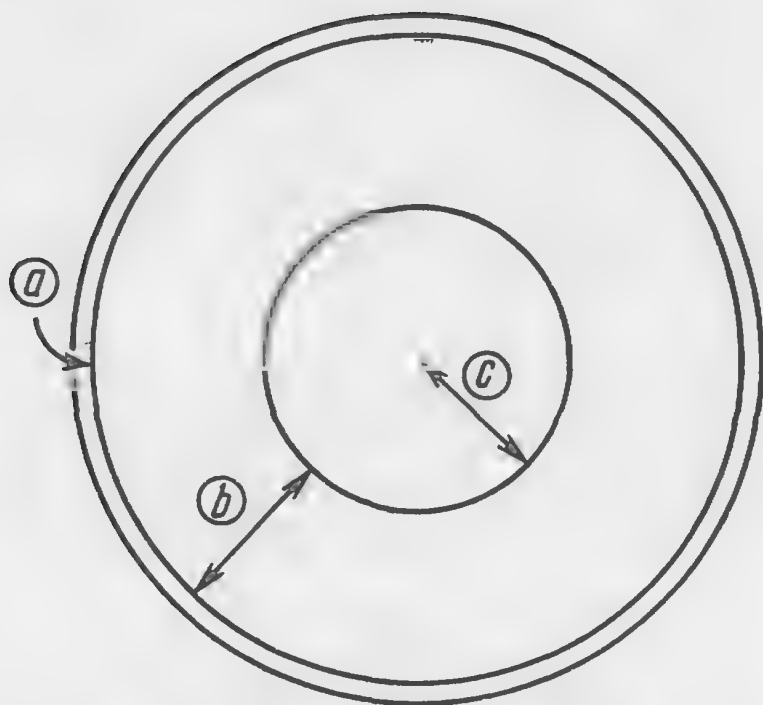


Рис. 10.15. Лунные недра.

(с) светлые, возвышенные, холмистые, более древние районы; (d) избыток масс под поверхностью.

4. Предположим, что вы являетесь руководителем экспедиции по исследованию лунной поверхности. Что из нижеперечисленного оказалось бы для вас полезным: (а) дополнительные емкости с кислородом; (б) сигнальный пистолет;

(с) электрический фонарь; (d) магнитный компас; (е) спички; (f) звездная карта; (g) зонтик; (h) часы? Объясните, почему.

5. Каково наиболее вероятное происхождение большинства лунных кратеров?

6. Почему изменения на лунной поверхности происходят намного медленнее, чем на Земле?

7. Каков возраст (а) самых древних и (б) самых молодых лунных пород, доставленных на Землю?

8. Назовите три слоя Луны (рис. 10.15).

9. Укажите три вопроса, связанных с Луной, на которые пока нет ответа.

10. В какой фазе должна быть Луна, чтобы произошло (а) солнечное затмение; (б) лунное затмение?

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильные, то можно смело переходить к следующей главе.

Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Период вращения Луны вокруг своей оси равен периоду ее обращения вокруг Земли, это так называемое синхронное вращение (раздел 3).

2. (а) $1/4$ диаметра; (б) $1/81$ массы; (с) $3/5$ средней плотности; (d) $1/6$ силы тяжести на поверхности (разделы 5, 6, 7).

3. (а) 3; (б) 1; (с) 2; (d) 4 (разделы 8, 9, 10, 14).

4. (а), (с), (f), (h). Вследствие того что на Луне нет воздуха, воды и магнитного поля, все, что как-то связано с этими факторами, не может быть использовано (разделы 8, 10, 14).

5. Это следы метеоритов, падающих на поверхность (раздел 9).

6. На Луне нет воздуха и воды, вызывающих эрозию земной поверхности. Также нет сравнимой с земной геологической активности. Основным источником эрозии лунной поверхности являются микрометеориты (разделы 11, 12, 13).

7. (a) около 4,6 млрд. лет; (b) 3,1 млрд. лет (раздел 13).

8. (a) кора; (b) мантия; (c) ядро (раздел 14).

9. Как образовалась Луна? Каков химический состав пород, расположенных в удалении от мест прилунения нескольких «Аполлонов» и «Лун»? Что собой представляет лунное ядро? (Вы можете придумать и другие вопросы.) (Разделы 13, 14.)

10. (a) В фазе новолуния; (b) в фазе полнолуния (разделы 16, 17).

Шекспир. «Юлий Цезарь»,
акт 2, сцена 2

1. Яркие *кометы* всегда изумляли людей. В отличие от обыкновенных звезд эти светила, подобные языкам пламени, таинственно появляются и исчезают. На протяжении человеческой истории (письменные упоминания о ярких кометах восходят к IV в. до н. э.) люди очень пугались комет, считая их предвестниками бед, таких, как война или голод.

Рис. 11.1. Комета Беннетта 16 апреля 1970 г.



Сегодня мы знаем, что кометы принадлежат нашей Солнечной системе. Они путешествуют по эллиптическим орбитам вокруг Солнца в полном соответствии с известными законами физики. Это никакие не сверхъестественные явления.

(a) Каков был общий исторический взгляд на кометы?

(b) Каковы современные астрономические представления о кометах?

(a) Кометы считались сверхъестественными явлениями, приносящими людям несчастье.

(b) Кометы — это члены Солнечной системы, которые в своем движении подчиняются законам физики и не имеют мистического значения.

2. Кометы были названы так благодаря своему внешнему виду. Греческое слово *kometes*, а также латинское *cometa* означают «волосатая».

Яркие кометы имеют звездоподобную голову — *ядро*, окруженную искрящимся гало — *комой*, и длинный прозрачный *хвост*. Диаметр ядра от 1 до 10 км. Кома может простираться от ядра на 100 000 км и больше. Хвост тянется в пространстве иногда на миллионы километров.

Наблюдения комет с заатмосферных орбитальных космических аппаратов установили, что комету окружает невидимое с Земли водородное облако размером с Солнце или даже больше.

Назовите основные части типичной яркой кометы, показанной на рисунке 11.2.

(a) Ядро; (b) кома; (c) хвост; (d) водородное облако.

3. В Солнечной системе движутся по орбитам, вероятно, миллиарды комет, но их нельзя увидеть с Земли. Они видны на нашем небе, только когда проходят близко от Солнца. Наиболее общепринятое описание типичной кометы это модель «грязного снежка», предложенная в 1950 г. Фредом Уиплом.

Когда комета находится далеко от Солнца, у нее имеется только ядро. Ядро состоит, по-видимому, из замерзших газов, таких, как углекислый газ, аммиак, метан и водяной пар («снег»), смешанных с каменными или металлическими частицами («грязь»).

Из чего состоит ядро кометы?

Согласно модели «грязного снежка», ядро кометы — это замерзшие газы, смешанные с каменными или металлическими частицами.



Рис. 11.2. Основные части кометы.

4. Когда ядро кометы с окраин Солнечной системы приближается к Солнцу на несколько сотен миллионов километров, то оно начинает нагреваться. С его поверхности испаряются частицы газа и пыли, которые окружают комету и простираются на тысячи километров от ядра, образуя кому. Комета светит за счет того, что пыль отражает солнечный свет, а газы флуоресцируют. Каждый год астрономы с помощью больших телескопов фотографируют около двадцати таких туманных пятен света.

Что является причиной образования комы?

Солнечное тепло (которое вызывает испарение и расширение газа и частичек пыли).

5. Иногда комета подходит так близко к Солнцу, что образуются два длинных красивых кометных хвоста. Интенсивный солнечный свет толкает частички пыли (световое давление) и относит их в сторону. Комета продолжает двигаться, а за ней

тянется искривленный хвост пыли. Солнечный ветер выдувает ионизированные газы на миллионы километров в космос, образуя *газовый*, или *ионный*, хвост. Кометные хвосты настолько разрежены, что сквозь них можно увидеть звезды.

Обратитесь к рисунку 11.3 и найдите пылевой хвост и газовый (ионный) хвост и укажите происхождение каждого.

(а) ионный хвост; солнечный ветер; (b) пылевой хвост; световое давление.

6. Если комета после очередного сближения с Солнцем еще не совсем истаяла (или распалась), то она продолжает двигаться по своей орбите обратно в холодные дали космоса. Вещество кометы вновь замерзает, при этом исчезают кома и хвост.

Почему комета удаляется от Солнца хвостом вперед (рис. 11.4)?

Кометные хвосты образуются в результате давления солнечного излучения и солнечного ветра, которые всегда направлены от Солнца, так что хвост кометы также всегда направлен от Солнца.

7. Астрономы занесли в каталоги около ста комет, которые имеют сравнительно короткие периоды обращения вокруг Солнца. Они периодически появляются на земном небе всякий раз, когда подходят близко к Солнцу. Наиболее значительная из них — это комета Галлея, последний раз наблюдавшаяся в 1910 г. Ученые уже



Рис. 11.3. Комета с двумя хвостами.

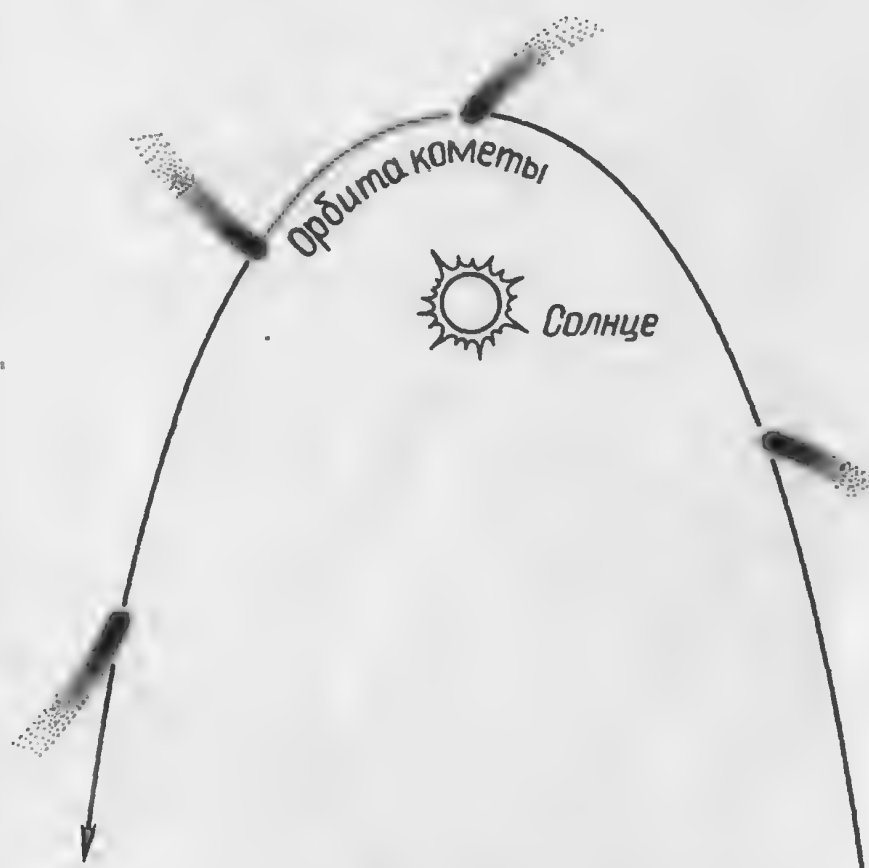


Рис. 11.4. Орбита кометы вокруг Солнца.

строят планы ее наблюдений во время следующего свидания с ней в 1986 г.

Таблица 11. 1. Некоторые периодические кометы

Комета	Период (в годах)	Наибольшее сближение с Солнцем (в а. е.)
Энке	3,30	0,34
Темпля	5,26	1,37
Финлея	6,88	1,08
Вольфа	8,42	2,50
Галлея	76,1	0,59

В таблице 11.1 дан список некоторых комет, появлявшихся на нашем небе несколько раз. Какой самый короткий известный период обращения кометы?

3,3 года (комета Энке).

8. На рисунке 11.5 показано 9 различных изображений кометы Галлея во время ее последнего появления в 1910 г.

Укажите пять изменений во внешнем облике кометы по мере ее движения по орбите вокруг Солнца.

1. Комета далеко от Солнца, она состоит из ядра (замерзших газов и пыли). 2. По мере приближения к Солнцу образуется кома. 3. В непосредственной близости от Солнца образуется хвост. 4. По мере удаления от Солнца кометное вещество вновь замерзает. 5. На большом расстоянии от Солнца кома и хвост исчезают.

9. Согласно широко распространенной теории, предложенной в 1950 г. голландским астрономом Яном Оортом, кометы образуются в обширном кометном облаке, расположенном в 50 000 — 100 000 раз дальше от Солнца, чем Земля. Кометное облако Оорта, находящееся на полпути к ближайшим звездам может содержать до 100 млрд. «зародышей» комет.

Случайно проходящая звезда может замедлить движение какой-либо кометы и послать ее в сторону Солнца. Эта комета будет долгопериодической кометой, путешествующей по эллипсу вокруг Солнца до тех пор, пока она не пройдет около Юпитера. Сильное гравитационное поле Юпитера переведет долгопериодическую комету на новую орбиту (рис. 11.6).

Где, по всей видимости образуются кометы?

В обширном кометном облаке, расположенном на границе Солнечной системы.

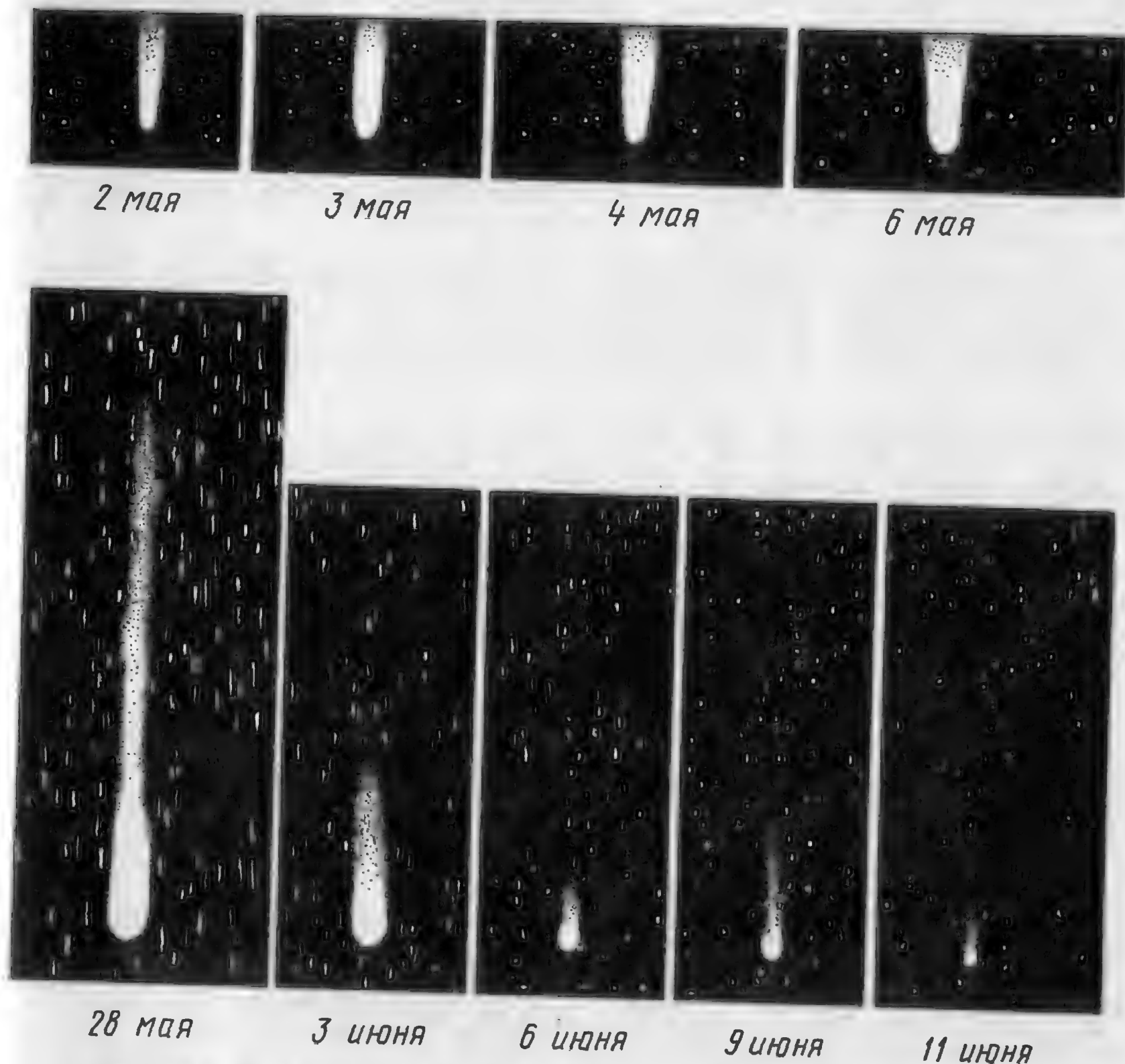


Рис. 11.5. Девять фотографий кометы Галлея, полученных в 1910 г.

10. Кометы, первый раз появляющиеся на нашем небе, представляют интерес, даже если они не светят ярко. Возможно, это единственные тела, оставшиеся от первичного вещества, из которого около 4,5 млрд. лет назад образовалась вся Солнечная система. Земля, Луна и другие небесные тела подверглись изменениям под действием воды, ветра и других факторов. Только кометы остаются такими же, какими они были в самом начале существования нашей планетной системы.



Рис. 11.6. Орбитальное движение кометы вокруг Солнца.

В настоящее время наиболее изученной кометой является комета Когоутека, открытая в марте 1973 г., за 9 месяцев до ее максимального приближения к Солнцу. Наблюдение кометы Когоутека проводилось с помощью наиболее совершенных наземных телескопов, а также с орбитальной станции «Скайлэб» (раздел 7.7). В комете были обнаружены распространенные металлы, силикаты и соединения углерода, азота, водорода и кислорода, включая ионы воды. Наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне показали, что водородное облако, окружающее комету, имеет диаметр более 10 млн. км. Эта комета сейчас удаляется к границам Солнечной системы, и снова она появится только через 80 000 лет.

Почему появление новых комет представляет большой интерес для ученых?

Кометы являются наилучшим источником сведений о первичном материале, из которого образовалась Солнечная система.

11. Каждый год открывают около пяти новых комет. Одни открытия приходятся на долю профессионалов, которые изучают фотографии комет, другие — на долю любителей. Кометы носят имена своих первооткрывателей. Таковыми считаются первые три человека, сообщившие о своем наблюдении новой кометы. Так как охота за кометами представляет собой популярное международное занятие, то иногда можно прямо-таки сломать язык, произнося, например, название кометы Хонда-Мркоса-Пайдушаковой.

Каким образом комета может обессмертить ваше имя?

Откройте комету, и ей навечно будет присвоено ваше имя.

12. Вас может заинтересовать вопрос, что же случится, если комета столкнется с Землей. Некоторые астрономы считают, что такое столкновение произошло в 1908 г. Тогда в сибирской тайге таинственный взрыв гигантской силы произвел вывал леса на огромной территории. Кометное ядро может взорваться с энергией, эквивалентной взрыву миллионов водородных бомб. Но большинство астрономов считают, что шансы столкновения кометы с Землей очень малы. Чаще всего кометы не подходят близко к Земле.

Возможно ли, чтобы кометное ядро столкнулось с Землей?

Практически нет.

13. Каждый раз, когда комета проходит около Солнца, некоторая часть ее газа и частичек пыли остается вдоль ее орбиты. Твердые частички называются *метеорными телами*. Они продолжают обращаться вокруг Солнца, как крошечные планетки.

После многих оборотов вокруг Солнца все периодические кометы распадаются на газ и пыль.

Что такое метеорное тело?

Очень маленькие твердые частички, обращающиеся вокруг Солнца.

14. Загадывали ли вы когда-нибудь желание при виде «падающей звезды»? Эти

вспышки света — совсем не падающие звезды, а *метеоры*. Метеоры — это полосы света, возникающие в результате сгорания метеорных тел, которые врезаются в земную атмосферу со скоростями до 72 км/с. Трение о воздух сжигает эти маленькие частички на высоте от 80 до 100 км над Землей. В любую ясную темную ночь вы можете увидеть в среднем около 6 метеоров в час, которые в случайных направлениях прочерчивают небо. Метеоры падают и днем, но мы их в дневное время не видим, потому что небо светлое. Очень яркий метеор называется *болидом*.

Что такое «падающая звезда»?

«Падающая звезда», или метеор, это полоска света, которая становится видна в момент полного сгорания метеорного тела.

15. Каждый год в определенные даты можно видеть много метеоров, вылетающих из какой-то одной области неба. Этот тип «падающих звезд» называется *метеорным потоком*. Метеорные потоки связаны с кометами. Они наблюдаются в тех случаях, когда Земля, двигаясь по орбите вокруг Солнца, пересекает рой метеорных тел, простирающийся по орбите кометы (рис. 11.7).

В 1910 г. прохождение Земли прямо через хвост кометы Галлея вызвало панику. Как вы думаете, что же все-таки произойдет, если Земля пройдет через кометный хвост?

Можно будет наблюдать метеорный поток.

16. При наблюдении метеорного потока кажется, будто все метеоры вылетают из одной точки неба, называемой *радиантом* потока. Метеорные потоки названы по созвездиям, в которых находится их радиант. Обычно после полуночи метеоров наблюдается больше, так как Земля, двигаясь по своей орбите, поворачивается и мы оказываемся на той стороне, которой она летит вперед, в рой частичек. Для наблюдения метеорных потоков невооруженным глазом лучше всего подходят ночи, когда Луна не яркая. Полная Луна может затмить метеорный поток.

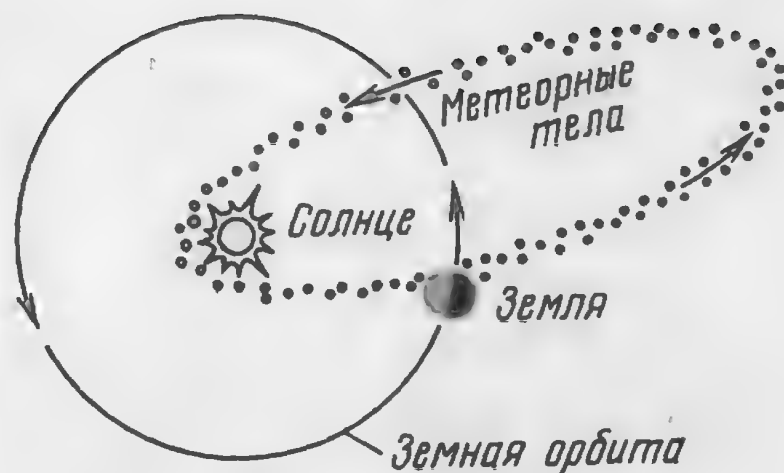


Рис. 11.7. Положение Земли, соответствующее наблюдению с ее поверхности метеорного потока.

Таблица 11. 2. Основные ежегодные метеорные потоки

Поток	Дата максимума	Приблизительная интенсивность в час	С какими кометами связан
Квадрантиды	3 января	30	
Лириды	23 апреля	8	1861 I
Эта-Аквариды	4 мая	10	вероятно, Галлея
Дельта-Аквариды	30 июля	15	
Персеиды	12 августа	40	1962 III
Ориониды	21 октября	15	вероятно, Галлея
Тауриды	4 ноября	8	Энке
Леониды	16 ноября	6	1866 I Темпля
Геминиды	13 декабря	50	
Урсиды	22 декабря	12	Туттля

Определите по таблице 11.2 самый сильный летний метеорный поток и дату его максимума.

Персеиды; 12 августа.

17. Бывает, что из космических глубин на Землю падает кусок камня или металла; он называется *метеоритом*. История не засвидетельствовала ни одного случая, чтобы упавший с неба камень кого-нибудь убил. Каждый год атмосферу Земли пронизывают, вероятно, сотни тонн космического вещества, но за 10 лет в среднем только два или три метеорита падают в населенные места и еще реже они вызывают какие-либо повреждения.

8 марта 1976 г. в северо-восточной провинции Китая Хэйлунцзян множество людей видели красный болид размером с полную Луну. Десятки тысяч людей на большой территории видели, как метеорит вошел в земную атмосферу и, взорвавшись, упал на Землю. Ученым были переданы для изучения осколки метеорита различных размеров.

Что такое метеорит?

Кусок камня или металла, прилетевший из космических глубин.

18. Если вы найдете метеорит, то вам будет вручена денежная премия! В настоящее время наряду с лунным грунтом, доставленным «Аполлонами» и «Лунами», метеориты являются единственным внеземным веществом (из глубин космоса), которое ученые могут непосредственно изучать.

Все метеориты делятся на три основных типа: (1) *железные метеориты* примерно в 8 раз плотнее воды и состоят в основном из железа (около 90%) и никеля; (2) *железокаменные* метеориты примерно в 6 раз плотнее воды. Их возраст оценивается в 4,6 млрд. лет, что примерно соответствует возрасту нашей Сол

нечной системы. Они содержат железо, никель и силикаты; (3) *каменные* метеориты примерно в 3 раза плотнее воды. Они в основном состоят из силикатов, и только 10% их массы приходится на железо и никель.

Каменные метеориты выглядят как обычные земные породы. Как правило, их не замечают, за исключением тех случаев, когда наблюдается их падение. В таблице 11.3 приведены сведения о распространенности основных типов каменных и железных метеоритов. Графа «Наблюдение падения метеоритов», по всей видимости, дает представление об истинной относительной распространенности различных метеоритов.

Таблица 11. 3. Распространенность типов метеоритов

Тип	Наблюдение падения метеоритов	Найденные метеориты
Железные	6%	66%
Железокаменные	2%	8%
Каменные	92%	26%

Рис. 11.8. Кратер Бэрринджер.



В 1969 г. в Австралии упал редкий тип каменного метеорита с высоким содержанием углерода — *углистый хондрит*. В нем обнаружены простейшие аминокислоты, являющиеся основными кирпичиками жизни.

Недавно во льдах Антарктиды была собрана большая коллекция метеоритов. Некоторые из них, относящиеся к углистым хондритам, содержат аминокислоты и имеют возраст 4,5 млрд. лет. Эти находки, показавшие наличие абиотического вещества¹ внеземного происхождения, добавляют еще больше интереса к поискам жизни в космосе (подробнее об этом см. главу 12).

Самый большой из всех найденных метеоритов — Западный Гоба — весит около 66 т. Он все еще лежит там, где упал, в Юго-Западной Африке. Обычно метеориты носят имена ближайших к месту их падения населенных пунктов.

Когда большие метеориты врезаются в Землю, они образуют гигантские кратеры. На рисунке 11.8 показан самый известный метеоритный кратер в Соединенных Штатах Америки Бэрринджер, расположенный в Аризоне около Винслоу. Его поперечник 1,5 км, а глубина 180 м. Ниже перечислены некоторые из самых больших метеоритов, которые экспонируются в США.

Метеорит	Масса, т	Местонахождение в настоящее время
Анигито (Гренландия)	34	Американский музей естественной истории (Нью-Йорк)
Виллеметт (Орегон)	14	Американский музей естественной истории (Нью-Йорк)
Фурнас Каунти (Небраска)	1	Университет Нью-Мексико
Парагоулд (Арканзас)	0,36	Чикагский музей естественной истории

В чем заключается важность изучения метеоритов?

Прямое исследование внеземного вещества позволяет ученым расширять наши знания о всей Солнечной системе.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал одиннадцатой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

- 1. Из чего состоит ядро кометы?
- 2. Опишите пять этапов изменения внешнего вида кометы.

¹ Абиотическим веществом называют органическое вещество в стадии, когда оно еще не принадлежит живой материи.— Прим. ред.

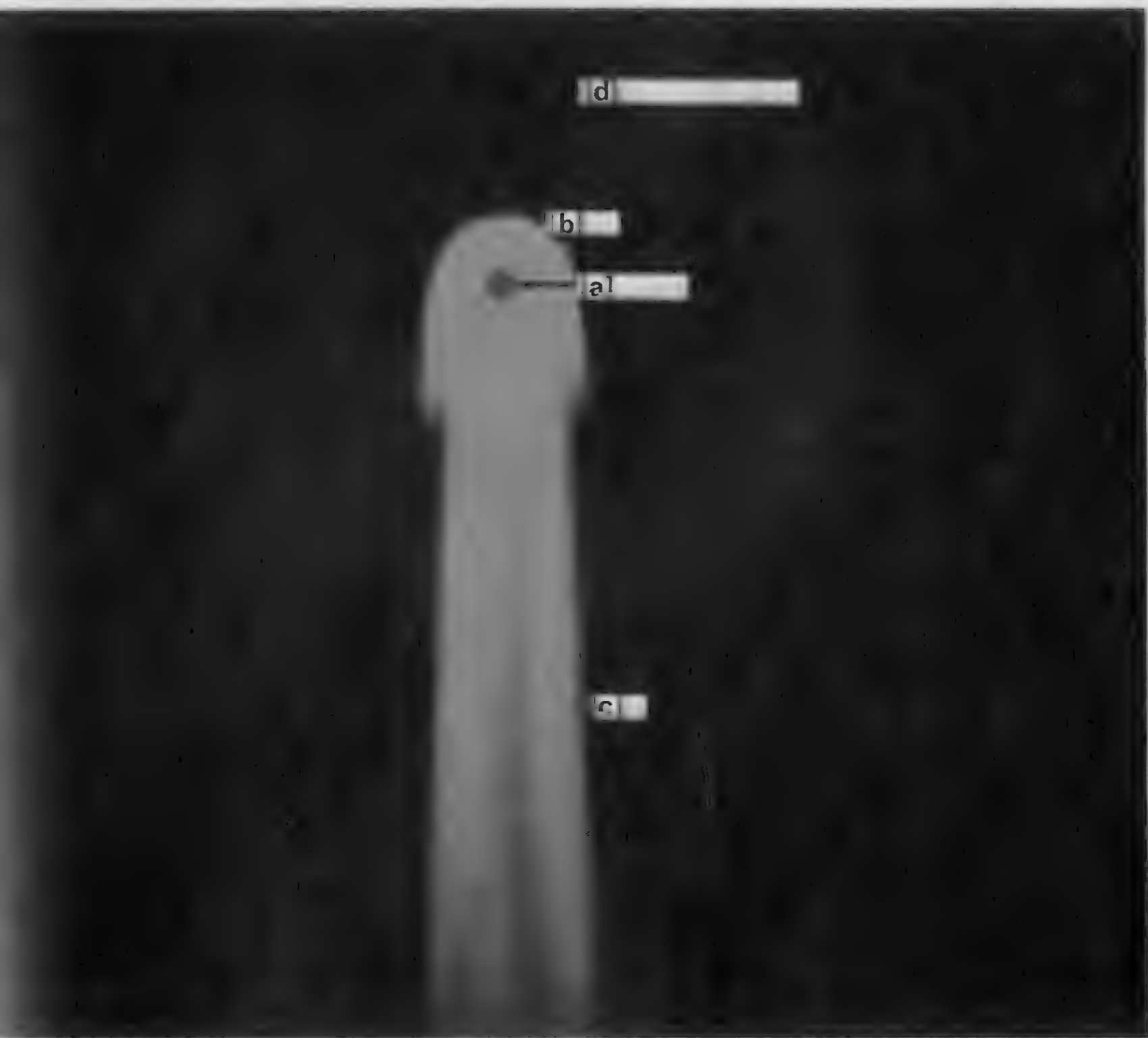


Рис. 11.9. Основные части кометы.

через которые она проходит по мере движения по орбите вокруг Солнца.

3. Назовите основные части кометы (рис. 11.9).

4. Подберите к каждому описанию правильное название.

(а) «Падающая звезда».

1. Метеор

(b) Маленькая частичка, обращающаяся вокруг Солнца.

2. Метеорит

(с) Твердое тело, достигающее поверхности Земли.

3. Метеорное тело

5. Объясните взаимосвязь между кометами и метеорными потоками.

6. Опишите состав и возможное происхождение метеоритов.

7. Расположите в порядке удаления от Солнца: пояс астероидов, Земля, кометное облако Оорта, Плутон.

8. Объясните, почему кометы и метеориты представляют интерес для ученых.

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если все ваши ответы правильные, то можно смело переходить к следующей главе. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. Согласно модели «грязного снежка», кометное ядро состоит из замерзших газов, таких, как метан, аммиак, углекислый газ и водяной пар, смешанных с каменными или металлическими частичками (раздел 3).

2. Когда комета находится еще далеко от Солнца, она выглядит как слабое светлое пятно — ядро из замерзших газов и пыли. По мере приближения к Солнцу вокруг ядра образуется кома. Вблизи Солнца у кометы формируется хвост. После облета Солнца комета вновь замерзает. Вдали от Солнца у кометы опять остается только одно ядро (разделы 3, 4, 5, 6, 8).

3. (a) ядро; (b) кома; (c) хвост; (d) водородное облако (раздел 2).

4. (a) 1; (b) 3; (c) 2 (разделы 13, 14, 17).

5. Метеорный поток образуется, когда Земля, двигаясь по орбите вокруг Солнца, пересекает рой метеорных тел, оставшихся на орбите кометы (раздел 15).

6. Железные метеориты состоят в основном из железа (около 90%) и никеля; железокаменные — из железа, никеля и силикатов; каменные имеют высокое содержание силикатов, а железа и никеля лишь 10% по массе; возможное происхождение: пояс астероидов (раздел 18).

7. Земля, пояс астероидов, Плутон, кометное облако Оорта (разделы 9, 18).

8. Потому что они образуются в космосе и могут помочь нам глубже узнать историю и внутреннее строение нашей собственной Земли и других планет Солнечной системы (разделы 10, 17, 18).

ЖИЗНЬ НА ДРУГИХ МИРАХ!

Мы надеемся когда-нибудь решить земные проблемы и присоединиться к союзу галактических цивилизаций. Эта запись представляет нашу надежду, нашу решимость и нашу добрую волю в безбрежной и внушающей трепет Вселенной.

Запись на борту КА «Вояджер»

1. Никто еще не знает, существует ли *внеземная жизнь*. Но поиски уже начались!

В 1976 г. две американские автоматические межпланетные станции «Викинг» приступили к поиску жизни на другой планете — Марсе. Радиоастрономы США и СССР исследуют небо в надежде принять разумные сигналы других цивилизаций; эта программа называется СЕТИ¹.

Биохимики считают, что в основе всех живущих на Земле организмов лежит несколько основных молекул, которые могут быть воспроизведены в лабораторных условиях. Астрономы нашли основные атомы и молекулы жизни на других планетах, в звездах и в межзвездных пылевых облаках (см. раздел 5.4). Они нашли аминокислоты в каменных метеоритах (см. разделы 11, 18). Физики утверждают, что законы природы, которые управляют физическими и химическими процессами на Земле, одинаковы во всей Вселенной.

Если жизнь на Земле развилась из неживых молекул в результате цепочки физических и химических реакций и не является уникальным космическим явлением, то тогда она, вероятно, может существовать повсюду во Вселенной.

Объясните, почему многие ученые считают, что внеземная жизнь может существовать.

Основные молекулы жизни были найдены в космосе и воспроизведены в лабораториях. Если живые организмы развиваются из неживых молекул в процессе физических и химических реакций, то жизнь может существовать и на других мирах.

¹ СЕТИ (SETI) — сокращение от английских слов search for extraterrestrial intelligence — поиск внеземного разума, такое сокращение получило всеобщее признание, поскольку оно напоминает название звезды τ Ceti (Тау Кита) — одного из кандидатов на пристанище внеземной жизни. — Прим. ред.

2. Основной характеристикой, которая отличает *живой организм* от неживой материи, является способность к воспроизведению и обмену веществ. Что дало толчок возникновению жизни? Никто этого пока не знает, но теория *космической эволюции* следующим образом связывает появление живых организмов с процессами, происходящими во Вселенной.

Около 4 млрд. лет назад основными компонентами земной атмосферы были газы водород, кислород и азот, а также соединения углерода. Нашу планету покрывала смесь ядовитых газов (метана, аммиака, углекислого газа) и воды. Космические лучи и грозы давали энергию для соединения этих газов в более сложные *органические молекулы* (молекулы, содержащие углерод), такие, как аминокислоты, являющиеся основными молекулами жизни.

В земных морях постепенно накапливались молекулы органических веществ. По мере увеличения их концентрации в воде происходили столкновения между ними, в результате чего они объединялись и маленькие молекулы превращались в большие. В этом процессе важную роль играла вода, потому что она ускоряла химические реакции.

Прошел миллиард лет, в течение которого образовывались все более и более сложные молекулы. Наконец, возникли молекулы, которые обладали способностью к воспроизведению и метаболизму. Таким образом был преодолен рубеж от неживого к живому.

Объясните значение воды в химической эволюции основных органических молекул.

Вода ускоряет химические реакции, облегчая молекулам возможность столкновения друг с другом.

3. Обыкновенный *вирус*, видимо, является хорошим примером того, что живые организмы могут эволюционировать из неживых молекул, так как он обладает характеристиками и тех и других.

Вирусы — это субмикроскопические тела, которые вызывают болезни у животных и растений. Вирус — это самый простой объект, который может быть назван живым, потому что может воспроизводиться в контакте с живыми клетками.

Размер вирусов меняется от очень маленького (меньше, чем многие неживые молекулы) до такого большого, как маленькая бактерия. Иногда их считают сложными неживыми белками, так как им не хватает источников энергии и исходных материалов, необходимых для роста.

Какое существует доказательство возможного развития живых организмов из неживых молекул?

Вирусы имеют свойства как живых, так и неживых молекул

4. Принцип *естественного отбора*, или *выживания наиболее приспособленных*, — это теория, которая предполагает, что все живые существа на Земле развились из простых одноклеточных организмов.

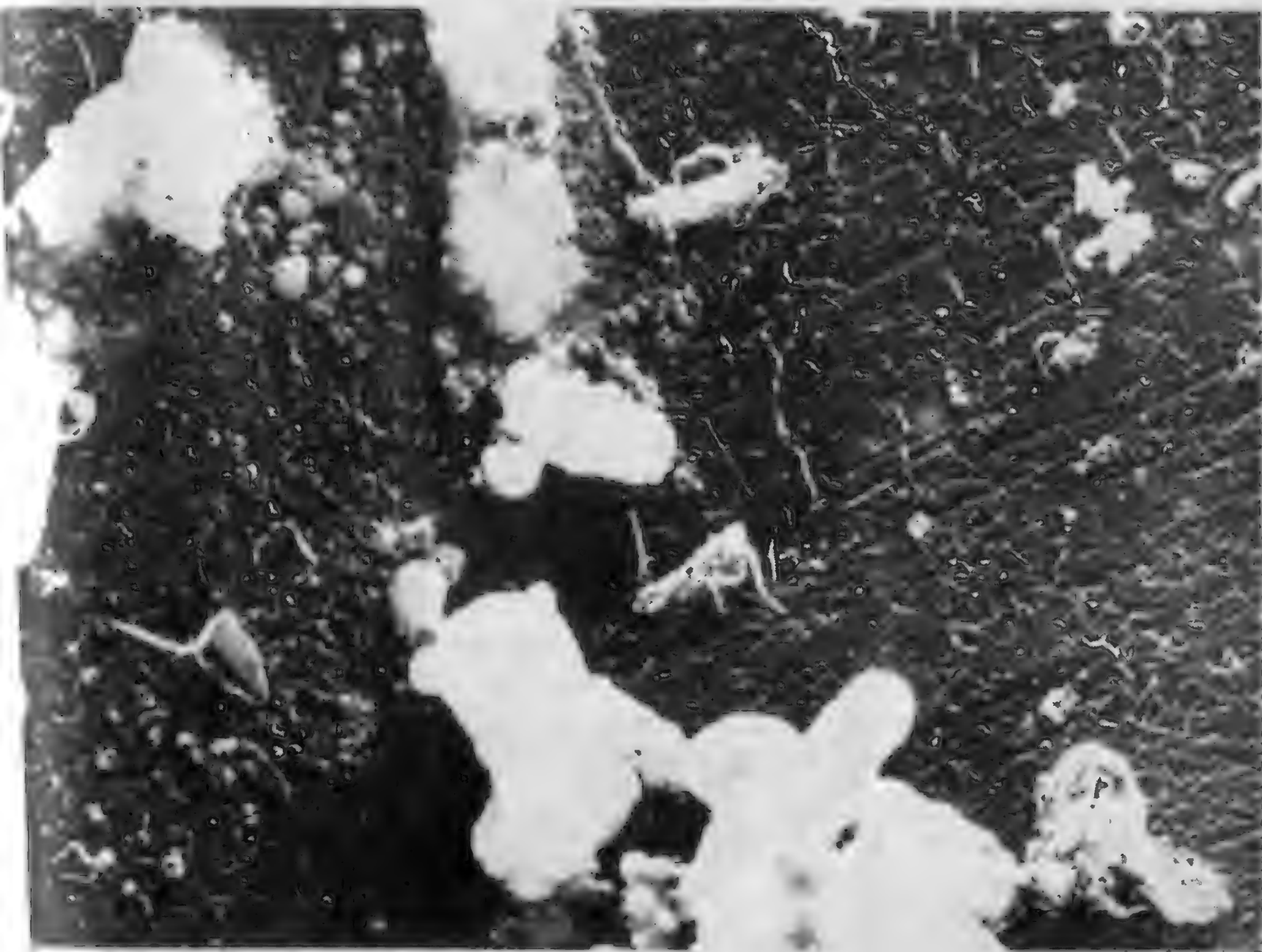
Окаменевшие остатки в древних породах показывают, что жизнь уже существовала на Земле 3 млрд. лет назад в виде простых одноклеточных растений, называемых водорослями, и таких организмов, как бактерии.

Происходило размножение первых живых организмов. Но дети никогда не являются точной копией своих родителей. Всегда существуют некоторые *изменения* в характеристиках при воспроизведении.

Особи с наиболее благоприятными изменениями, которые помогли им выжить в окружающей среде, оказались наиболее приспособленными.

Они имели наибольшие шансы для достижения зрелого возраста и воспроизведения. Так закреплялись наиболее благоприятные черты, в то время как неблагоприятные отмирали в результате естественного отбора. Медленно, в течение длительного периода времени, из первоначальных организмов могли образоваться новые.

Рис. 12.1. Окаменелые бактерии, возраст которых исчисляется несколькими миллиардами лет.



Таким образом, в течение миллиардов лет при различных условиях окружающей среды все живые существа на Земле, включая человека, могли развиваться из простейших клеток.

Предложите одну из возможных форм влияния окружающей среды, которая может стимулировать эволюцию.

Коренное изменение климата на всей планете (вы можете подумать и о других формах).

5. Подобным же образом жизнь может развиваться и на соседних планетах. Солнечная зона обитания (экосфера), или область пространства, где жизнь может существовать в благоприятных условиях, расположена примерно между орбитами Венеры и Марса.

На Венере нет подходящих условий для возникновения и развития жизни, так как на ее поверхности очень высокая температура (до 480 °C) и слишком сухо (раздел 9.3).

Марс в этом смысле кажется более подходящей планетой. Похоже, что необходимое для земной жизни количество воды когда-то было и на Марсе. На фотографиях видны извилистые русла, которые выглядят как знакомые нам русла рек с притоками, где когда-то могли течь мощные реки. Данные, полученные космическими аппаратами, указывают на наличие воды в марсианских полярных шапках, в изморози, тумане и облаках (раздел 9.11 и рис. 9.16).

Лабораторные эксперименты показали, что некоторые растения и микробы могут выжить в условиях, сходных с наблюдаемыми на Марсе сегодня. Если там когда-нибудь была жизнь, то возможно, что она все еще там существует.

Эксперименты, проведенные на борту спускаемых отсеков космических аппаратов «Викинг», были направлены на обнаружение живущих в марсианском грунте микробов на углеродной основе. Результаты оказались неопределенными.

Биологи не сделали окончательного вывода о наличии или отсутствии жизни на Марсе. Они продолжают исследования на Земле в попытке смоделировать и понять результаты экспериментов, проведенных «Викингами».

Простые микробы могут существовать на Титане и Юпитере. Там присутствуют газы, из которых, по-видимому, развилась жизнь на Земле. Под облачным покровом там могут быть некоторые формы жизни. Мы должны подождать, пока это выяснят космические аппараты будущего.

Какие три наблюдательных факта дают возможность предположить, что жизнь может развиваться на Марсе из неживых молекул?

(1) Есть доказательство существования в прошлом большого количества воды;

- (2) Марс находится внутри зоны обитания Солнца;
(3) некоторые формы земной жизни могут выжить в марсианских условиях.

6. Возможно, мы являемся единственной *разумной* (как мы гордо себя называем) *цивилизацией* во всей Вселенной. С другой стороны, можно предположить, что существует множество других разумных миров.

Наше Солнце — лишь одна из 100 млрд. звезд нашей Галактики «Млечный Путь». В поле зрения крупнейших телескопов попадает около миллиарда галактик. Многие из звезд этих галактик могут иметь пригодные для жизни планеты, обращающиеся вокруг них. А на некоторых из этих планет могут существовать разумные цивилизации.

Ученые Карл Саган, Фрэнк Дрейк и И. С. Шкловский вычислили *количество разумных цивилизаций* в нашей Галактике, с которыми мы могли бы надеяться связаться в настоящее время.

Ученые использовали следующий метод. Они оценили с некоторой вероятностью (1) число звезд в Галактике, (2) часть звезд, которые имеют планеты, и (3) среднее количество планет, пригодных для жизни.

С гораздо меньшей точностью они вычислили (4) часть пригодных для жизни планет, где жизнь действительно развилась, (5) часть тех, где жизнь развилась до уровня разумных организмов, и (6) часть разумных цивилизаций, которые попробовали установить контакт.

После этого они просто предположили (7) среднюю продолжительность существования разумной цивилизации.

Когда принимают во внимание все эти факторы, оценка колеблется от одной разумной цивилизации (нашей) до миллиона по всей Галактике «Млечный Путь»¹.

Как вы думаете, почему пункт 7 (средняя продолжительность существования разумной цивилизации) наиболее неточный по сравнению с другими?

Никто не знает, что происходит после того, как цивилизация, подобная земной (если наша является типичной), достигает такой стадии технического развития, что может устанавливать контакт с другими цивилизациями в нашей Галактике. Будет ли она долго существовать для взаимного «разговора» или же сама себя разрушит ядерным оружием, загрязнением окружающей среды или перенаселением?

¹ Подобная вероятностная оценка оказывается весьма субъективной; достаточно заметить, что член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский в последние годы радикально изменил свою позицию и от уверенности во множестве обитаемых миров в нашей Галактике пришел к доказательству возможной уникальности жизни на Земле. — *Прим. ред.*

7. Конденсационная теория образования звезд предполагает, что вокруг многих звезд должны быть планеты (раздел 7.3). Есть данные, что астрономы обсерватории Спроул в Свартморе (Пенсильвания, США) открыли планеты вокруг нашей соседки, звезды Барнарда.

Планеты, обращающиеся вокруг других звезд, не могут быть видимы даже в самые крупные телескопы. И если планеты все-таки существуют, они все равно теряются в свете звезд. Поэтому астрономы ищут невидимые спутники, изучая собственное движение видимых звезд.

Питер ван де Камп обнаружил колебательные изменения в собственном движении звезды Барнарда, которая фотографировалась с 1937 г. Эти изменения могут быть вызваны гравитационным воздействием планет. Полученные данные предполагают, что вокруг звезды Барнарда обращаются две массивные планеты. Так как подобные наблюдения проводить очень трудно, то у астрономов нет полной уверенности в правильности данных.

Как ученые объясняют колебательные изменения собственного движения звезды Барнарда?

Колебательные изменения собственного движения звезды могут указывать на наличие планет.

8. *Межзвездные путешествия*, полеты к другим звездам, были бы наилучшим способом обнаружения других цивилизаций. Но сегодня никто всерьез не планирует далекие полеты в космос. Тому есть несколько причин.

Даже близкие звезды находятся на расстоянии нескольких световых лет, и ни один космический аппарат не может двигаться со скоростью света. Полет к ближайшей соседке Альфе Центавра со скоростью космического корабля, который доставил американских астронавтов на Луну, занял бы много тысяч лет.

Если же нам удастся создать космический корабль,двигающийся со скоростью, близкой к скорости света, то для осуществления полета к ближайшей звезде потребовалось бы больше энергии, чем потребляется сейчас во всем мире за сто лет.

Дальний космический полет и длительная невесомость могут оказать на экипаж вредное воздействие. В настоящее время продолжаются медико-биологические исследования воздействия космического полета и возможных путей адаптации человеческого организма к длительной невесомости. В 1974 г. четыре астронавта жили в космосе на орбитальной станции «Скайлэб» 84 дня 1 ч 16 мин. В 1980 г. советские космонавты жили на борту орбитальной станции «Салют-6» 185 дней¹.

¹ В настоящее время рекорд продолжительности работы в космосе принадлежит советским космонавтам Л. Д. Кизиму, В. А. Соловьеву и О. Ю. Атькову, которые на станции «Салют-7» выполнили полет продолжительностью в 237 сут.— *Прим. ред.*

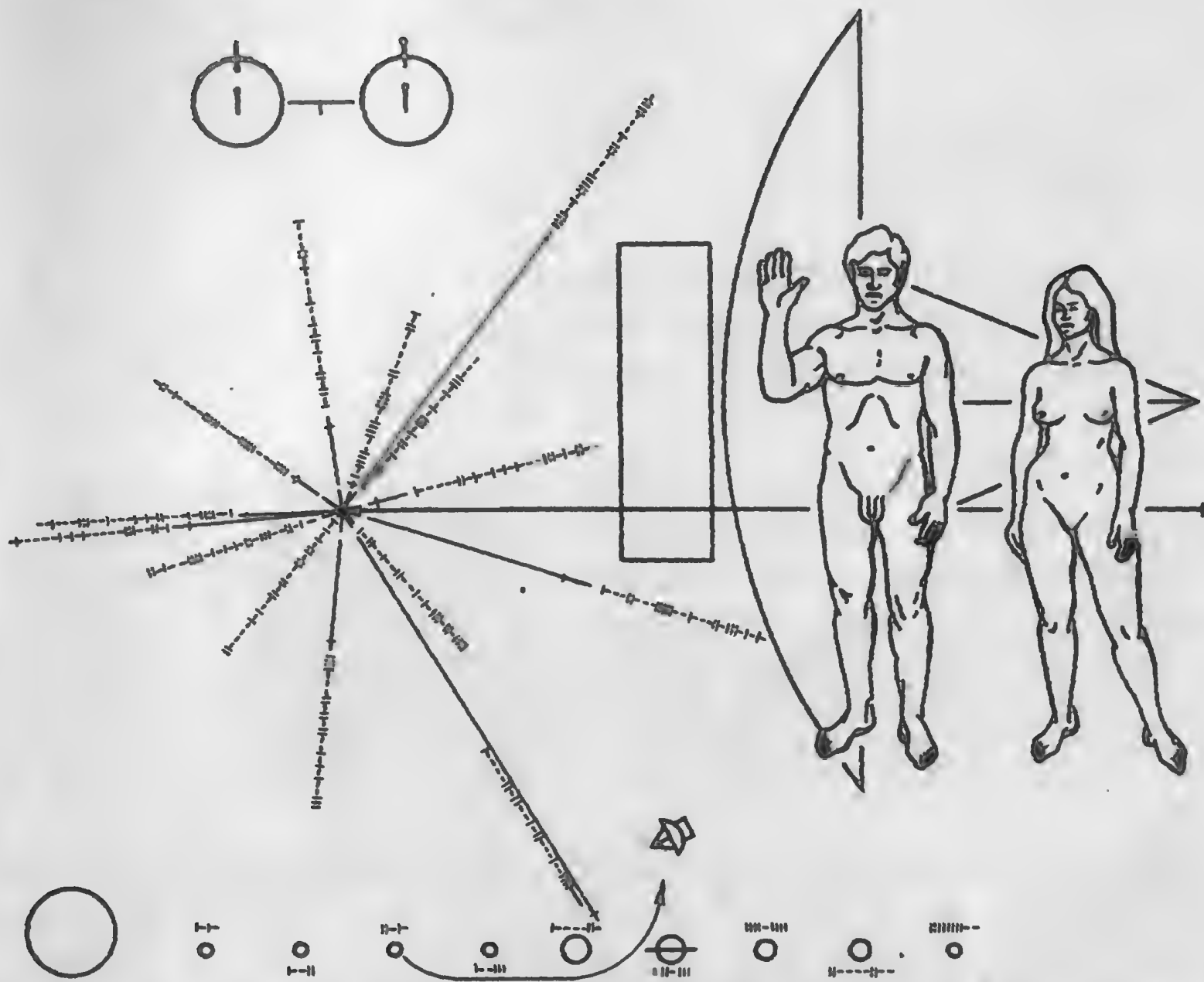


Рис. 12.2. Специальная пластинка, установленная на борту космических аппаратов «Пионер-10 и -11».

В 1987 г. впервые покинет Солнечную систему космический аппарат «Пионер-10», который пролетел мимо Юпитера в 1973 — 1974 гг. И «Пионер-10» и следующий за ним «Пионер-11» несут на борту пластинки с символическим посланием всем разумным существам, которых они могут встретить. Эти пластинки объясняют, когда, где и кем были запущены эти космические аппараты.

Запущенный в 1977 г. «Вояджер» (раздел 8.12) несет запись (а также катушку с фотопленкой) с электронно-закодированной информацией о землянах. Гипотетические космические цивилизации смогут услышать запись пения птиц, музыку и приветствия на шестидесяти языках.

В настоящее время запуск большого количества высокоскоростных беспилотных космических аппаратов для исследования других звезд стоил бы чрезвычайно дорого. В будущем, возможно, к ближайшим звездам будут посланы беспилотные корабли для проведения научных исследований.

Большинство ученых считает, что нас не посещали пришельцы из других миров, хотя и приходится часто слышать о визитах НЛО. Ученые были бы рады исследовать в лаборатории конкретные доказательства их существования, например обломок

космического корабля, но пока ничего подобного найдено не было.

Почему вероятность того, что Земля подвергнется нападению враждебных космических пришельцев, как полагают некоторые, чрезвычайно мала?

В случае если другие цивилизации находятся на нашей стадии развития, то путешествие на огромные межзвездные расстояния займет слишком много времени и потребует слишком больших затрат, чтобы они могли быть оправданы.

9. Мы можем связываться сегодня с другими цивилизациями с помощью радиоволн.

Используя уже существующие передающие и принимающие устройства, мы можем послать радиосигнал с Земли, который мог бы быть принят другой похожей на нашу цивилизацией в Галактике. Мы можем принимать сигналы от радиотелескопов, даже не крупнее, чем 300-метровая чаша в Аресибо (Пуэрто-Рико), которые находятся на расстоянии в тысячи световых лет от нас.

В 1974 г. после модернизации вновь был открыт гигантский радиотелескоп Аресибо. Мощный радиосигнал, несущий закодированное послание Земли, был послан в космос в направлении шарового скопления М13 в созвездии Геркулеса, находящегося на расстоянии 24 000 св. лет. Это послание было в большой степени символичным и продемонстрировало жителям Земли наши сегодняшние возможности, так как для получения ответа придется ждать в лучшем случае 48 000 лет!

В настоящее время американские и советские программы межзвездной связи направлены на прием разумных сигналов. Это дешевле, проще и безопаснее до тех пор, пока мы не узнаем, существуют ли вообще внеземные цивилизации и дружелюбны ли они.

В недалеком прошлом радиоастрономы параллельно с основной работой предприняли несколько попыток зарегистрировать разумные сигналы. Первым был проект ОЗМА, проведенный на Национальной радиоастрономической обсерватории Грин Бэнк (Западная Вирджиния, США). Фрэнк Дрейк прослушивал две близкие звезды на волне 21 см (1420 МГц): Тау Кита и Эпсилон Эридана. Разумные сигналы обнаружить не удалось.

Эта неудача не удивительна. Попытки зафиксировать искусственные сигналы могли быть успешными только в том случае, если другие цивилизации умышленно пытались бы дать нам знать о себе. Даже если бы они послали нам сигнал, мы могли не настроиться на нужную частоту и не смотреть в нужное время в нужном направлении. Это то же самое, что пытаться найти иголку в стоге сена, отыскивая ее наугад и даже не зная, как она выглядит.

Захватывающий поиск внеземной жизни едва лишь только начинается.

Сколько примерно времени потребуется земному радиосигналу, чтобы достичь планеты, обращающейся вокруг Альфы Центавра (расстояние 4,3 св. года)? Указание. Радиоволны распространяются со скоростью света (раздел 2.5).

4,3 года.

10. В 1971 г. было высказано первое детально разработанное предложение сверхчувствительного поиска других разумных цивилизаций — проект Циклоп.

Затраты на тщательный поиск внеземной разумной жизни могут составить несколько миллиардов долларов, если использовать большую антенную систему, состоящую из тысячи радиотелескопов, оборудованных сложными ЭВМ.

В последнее время концепция межзвездной связи, как возможная часть программы СЕТИ, реализуемой НАСА, была пересмотрена.

Рис. 12.3. Модель гигантского радиотелескопа для осуществления проекта Циклоп.



Ученые предложили провести в ближайшее время серьезный поиск внеземного разума на международных началах.

Сегодня важная программа СЕТИ не нуждается в больших системах с дорогим оборудованием. Мы могли бы при небольших затратах, используя существующие радиотелескопы и ЭВМ, искать сигналы из окрестностей всех известных звезд, подобных нашему Солнцу, в пределах 100 св. лет от Земли.

Наиболее вероятные частоты для нашего первого контакта лежат в интервале от 1400 до 1730 МГц. На них часто ссылаются как на галактический «канал связи», где все мы встретимся.

В будущем, если мы решим искать сигналы в радиусе 1000 св. лет, то сможем построить большие системы, такие, как проект Циклоп; появится возможность установить большие антенны в космосе и на Луне.

Представьте, что вам предложили бы проголосовать за или против нашего присоединения к серьезному международному поиску сигналов других цивилизаций. За что бы вы проголосовали и почему?

Ответ зависит от вашей точки зрения. Я бы голосовала за поиск. Если мы обнаружим другие разумные цивилизации, то они смогут научить нас, как решить проблемы, угрожающие сейчас жизни на Земле. Если нет, то затраты все равно не пропадут, так как мы можем ожидать большого притока знаний на благо человечества от интеллектуальных и научных попыток такого масштаба.

Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля помогут определить, насколько вы усвоили материал двенадцатой главы. Ответьте на них по мере своих возможностей. Правильные ответы и ссылки даны в конце вопросника.

1. Укажите два наблюдательных факта, которые свидетельствуют в пользу теории спонтанного развития первых живых организмов на Земле.

2. Кратко изложите научную теорию развития земной разумной жизни из простых одноклеточных организмов.

3. Объясните, почему первый поиск жизни на других планетах был проведен именно на Марсе.

4. Приведите доказательство возможного существования планетной системы у звезды Барнарда.

5. Какой параметр, включенный в оценку статистической вероятности существования внеземной разумной жизни, самый ненадежный?

6. Каков наиболее распространенный научный взгляд на НЛО?

7. Подберите правильное описание к соответствующему проекту:

(а) попытка ученых принять разумные сигналы из космоса;

(б) послание далекому звездному скоплению;

(с) перспективный поиск внеземной жизни с использованием больших систем радиотелескопов и высокоскоростных ЭВМ;

(d) экспериментальный поиск жизни на других планетах;

(е) космический аппарат со специальным земным посланием, который покинет Солнечную систему.

1. Радиотелескоп Аресибо

2. «Пионер-10»

3. Проект Циклоп

4. Программа СЕТИ

5. «Викинг-1 и -2»

Ответы

Сравните ваши ответы с теми, которые даны ниже. Если вы испытали затруднение в ответе на какой-либо вопрос, обратитесь вновь к разделу, указанному в скобках. Если же вы не ответили на несколько вопросов, то, пожалуй, следует перечитать всю главу еще раз более внимательно.

1. (а) Биологи считают, что в основе всех живых организмов на Земле лежат несколько основных молекул. Эти молекулы удалось получить в лабораториях. (б) Обыкновенный вирус имеет свойства как живого организма, так и неживой молекулы (разделы 1, 3).

2. Принцип естественного отбора, или принцип выживания наиболее приспособленных, гласит, что при воспроизведении живых существ в их характеристиках появляются некоторые изменения (мутации). Особи с благоприятными изменениями, которые помогают им выжить в окружающей среде, являются наиболее приспособленными. Они имеют большую вероятность достичь зрелого возраста и воспроизвести себе подобных. Таким образом, существа с благоприятными качествами выживали, а с неблагоприятными — погибали вследствие естественного отбора. Разум — это благоприятный фактор. В течение нескольких миллионов лет при различных условиях окружающей среды, существовавших на Земле, из простых клеток развились живые разумные существа (раздел 4).

3. Марс находится в пределах зоны обитания Солнца; некоторые факты позволяют предположить, что когда-то на Марсе текла вода; существуют земные растения и микробы, которые могут выжить в условиях, аналогичных марсианским; помимо всего прочего, Марс расположен достаточно близко, чтобы путешествие оказалось возможным с экономической точки зрения (разделы 5, 8).

4. Изменения в собственном движении звезды Барнарда могут быть вызваны гравитационным притяжением массивных планет (раздел 7).

5. Средняя продолжительность существования разумной цивилизации (раздел 6).

6. Большинство ученых считает, что Землю не посещали существа из других миров. Они были бы рады изучить в лаборатории конкретные доказательства, такие, как, например, кусок космического корабля, но пока ничего подобного найдено не было (раздел 8).

7. (a) 4; (b) 1; (c) 3; (d) 5; (e) 2 (разделы 1, 8, 9, 10).

ЭПИЛОГ

Астрономия побуждает смотреть
ввысь и ведет от нашего мира к дру-
гим мирам.

Платон
«Государство»

Астрономия прошла большой путь с тех пор, как древние впервые стали размышлять о тайнах Вселенной. Но многие волнующие открытия все же еще впереди. Теперь, когда вы постигли основы этой древнейшей науки, вы будете получать больше удовольствия от наблюдений неба и от приобщения к новейшим достижениям астрономии.

Специально для вас составлен список основных вопросов и навыков, которыми было бы полезно овладеть, усвоив содержание книги. Когда вы закончите чтение, то сможете:

Глава I

- Отыскать на небесной сфере светила по их прямому восхождению и склонению.
- Отыскать некоторые яркие звезды и созвездия, характерные для каждого времени года.
- Объяснить, почему ночью мы наблюдаем перемещение звезд по небу.
- Объяснить, почему от сезона к сезону происходит изменение вида звездного неба.
- Объяснить причину видимого суточного и годового движения Солнца.
- Объяснить, что такое Зодиак.
- Рассказать о том, как выглядит звездное небо, наблюдаемое на разных широтах Земли.
- Объяснить, что такое сидерические и солнечные сутки и причину различия их продолжительности.
- Объяснить, как астрономы классифицируют небесные объекты по их видимому блеску (звездным величинам).
- Объяснить, почему положение Полярной звезды и точки весеннего равноденствия меняется в течение тысячелетий.

Глава II

- Рассказать о волновой природе света, включая его возникновение и распространение в пространстве.
- Перечислить основные диапазоны электромагнитного спектра от самых коротких длин волн до самых длинных.

- Установить соотношение между длиной волны и частотой.
- Установить соотношение между цветом звезды и ее температурой.
- Перечислить три «окна» (диапазона длин волн) в земной атмосфере в порядке их важности для наблюдательной астрономии.
- Объяснить, как работают телескопы — рефрактор и рефлектор.
- Объяснить, что такое светосила, разрешающая способность и увеличение телескопа.
- Рассказать о двух основных параметрах телескопа.
- Объяснить назначение спектрографа.
- Объяснить, как работает радиотелескоп, и указать некоторые интересные радиоисточники.
- Объяснить, почему ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-телескопы должны находиться над земной атмосферой, и указать некоторые объекты, которые они изучают.
- Объяснить, почему инфракрасные телескопы располагаются в засушливых высокогорных районах, и указать некоторые объекты, которые они наблюдают.

Глава III

- Объяснить принцип параллакса для определения расстояний до звезд и его недостатки.
- Рассказать о трех типах спектров: эмиссионном, поглощения и непрерывном.
- Объяснить, почему каждый элемент имеет свой собственный, не похожий на другие, эмиссионный спектр и спектр поглощения.
- Рассказать об общем виде звездных спектров и объяснить, как они подразделяются на спектральные классы.
- Объяснить, как из спектра определяют химический состав, температуру внешних слоев и лучевую скорость звезды.
- Перечислить другие характеристики звезд, получаемые из их спектров.
- Объяснить, как определяют собственные движения и пространственные скорости звезд.
- Объяснить, в чем состоит различие между видимым блеском и абсолютной светимостью.
- Установить соотношение между видимой звездной величиной, абсолютной звездной величиной звезды и расстоянием до нее.
- Рассказать о Г — Р-диаграмме, включая объяснение связи между массой звезд, их светимостью и температурой.
- Сравнить наше Солнце по массе, диаметру и плотности с красным гигантом и белым карликом.
- Перечислить четыре типа двойных звезд.

Глава IV

- Объяснить, что такое звездная эволюция.
- Перечислить три стадии жизненного цикла звезды типа нашего Солнца согласно современной теории звездной эволюции
- Объяснить, в чем важность Γ — P -диаграммы для теории звездной эволюции.
- Объяснить, какова зависимость между возрастом звезды и ее положением на Γ — P -диаграмме.
- Перечислить три основных этапа рождения звезды.
- Рассказать об энергетическом и статическом равновесиях звезды главной последовательности.
- Рассказать о сходстве и различии изменений, происходящих в звездах с малой и большой массами по мере их эволюции (планетарная туманность, белый карлик, сверхновая, пульсар и нейтронная звезда, черная дыра).
- Отыскать на небе туманность (где рождаются звезды), звезду главной последовательности, голубой гигант, красный гигант и пульсирующие переменные звезды.
- Рассказать о происхождении различных химических элементов и важной роли сверхновых в возникновении звезд.
- Рассказать о наблюдениях, подтверждающих существование сверхновых, нейтронных звезд и черных дыр.

Глава V

- Объяснить, что такое галактика и скопление галактик.
- Рассказать о форме, размере, количестве звезд и внешнем виде Галактики «Млечный Путь» и указать местоположение Солнца и Земли внутри нее.
- Рассказать о составе межзвездной среды.
- Рассказать о сходстве и различии эмиссионных и темных туманностей.
- Рассказать о сходстве и различии рассеянных (галактических) и шаровых скоплений.
- Объяснить, как создаются радиокарты нашей Галактики.
- Изложить метод использования Γ — P -диаграммы для определения возрастов звездных скоплений.
- Рассказать о различии между звездными населенностями I и II типов.
- Отыскать на небе самый удаленный объект, видимый невооруженным глазом.
- Рассказать о сходстве и различии свойств трех основных типов галактик по классификации Хаббла.
- Объяснить, чем отличается нормальная галактика от каждой из следующих: взрывающаяся галактика, сталкивающиеся галактики, радиогалактика, сейфертовская галактика, квазар.

Глава VI

- Объяснить, что такое космология.
- Изложить основные принципы, на которых базируется космология.
- Привести доказательство того, что Вселенная расширяется.
- Установить закон Хаббла.
- Объяснить, в чем состоит значение постоянной Хаббла.
- Рассказать о прошлом, настоящем и будущем Вселенной согласно каждой из трех основных космологических моделей — Большого Взрыва, пульсирующей и стационарной Вселенной.
- Перечислить наблюдения, подтверждающие эволюционные теории.

Глава VII

- Рассказать об основных причинах интенсивного изучения Солнца современными астрономами.
- Объяснить, что такое солнечная постоянная и почему важно знать, действительно ли она не изменяется со временем.
- Объяснить, что такое астрономическая единица (а. е.).
- Рассказать о Солнце как о звезде: ее формировании, свойствах, движении в пространстве.
- Рассказать о внутренних слоях Солнца: ядре, зоне конвекции, фотосфере, хромосфере и короне.
- Рассказать о вращении Солнца и его магнитном поле.
- Перечислить основные физические характеристики Солнца.
- Рассказать о некоторых современных приборах и методах, используемых для изучения Солнца.
- Рассказать о происхождении, свойствах и циклической природе солнечных пятен и объяснить, как изменение количества солнечных пятен связано с солнечной активностью.
- Рассказать о расположении, особенностях и происхождении солнечных гранул, факелов, флоккулов, протуберанцев и вспышек.
- Рассказать об особенностях и происхождении солнечного ветра.
- Объяснить, в чем заключается загадка «пропавших» солнечных нейтрино.

Глава VIII

- Перечислить небесные тела, которые входят в состав Солнечной системы.
- Объяснить, в чем состоит основное различие между планетой и звездой.
- Привести доказательства, свидетельствующие в пользу конденсационной теории образования Солнечной системы.

- Объяснить причину смены фаз Луны.
- Рассказать о развитии представлений о Солнечной системе, включая достижения Птолемея, Коперника, Галилея, Браге, Кеплера и Ньютона.
- Рассказать о законах движения тел под действием силы тяготения.
- Объяснить причину видимого движения планет, включая пятное движение.
- Объяснить причину различий продолжительности сидерического и синодического лунных месяцев.
- Объяснить, в чем заключается разница между вращением и обращением небесного тела.
- Объяснить, как движутся искусственные спутники Земли и межпланетные космические аппараты.
- Рассказать о сходстве и различии основных свойств девяти больших планет.
- Рассказать о малых планетах (астероидах).

Глава IX

- Рассказать о сходстве и различии условий, господствующих на поверхности Меркурия, Венеры, Земли и Марса.
- Объяснить, что подразумевается под словами «утренняя звезда» и «вечерняя звезда».
- Рассказать о сходстве и различии атмосфер Меркурия, Венеры, Земли, Марса и Юпитера.
- Рассказать об условиях, господствующих на поверхности Марса в местах посадок космических аппаратов «Викинг-1» и «Викинг-2».
- Перечислить два наблюдательных факта, свидетельствующих о том, что в прошлом на Марсе могла течь вода.
- Рассказать о сходстве и различии внутреннего строения Земли и Юпитера.
- Изложить теорию глобальной тектоники плит (дрейфа континентов), объясняющую геологию земной поверхности.
- Перечислить наиболее характерные детали Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна, видимые в небольшой телескоп.
- Перечислить несколько общих свойств Юпитера и Сатурна, а также Урана и Нептуна.
- Рассказать, что сейчас известно о спутниках Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона.
- Рассказать, что сейчас известно о Плутоне.

Глава X

- Объяснить причину видимого перемещения Луны по небу.
- Сравнить Луну и Землю по диаметру, массе, средней плотности и силе тяжести на поверхности.

- Рассказать об основных особенностях поверхности Луны.
- Рассказать о сходстве и различии Луны и Земли с точки зрения геологической активности и эрозии поверхности.
- Объяснить причину вероятного происхождения лунных кратеров и морей.
- Рассказать об условиях на Луне в местах посадок космических кораблей «Аполлон».
- Рассказать о внутреннем строении Луны на основании современных данных.
- Изложить современную теорию происхождения и эволюции Луны.
- Перечислить ряд нерешенных проблем, связанных с Луной.
- Рассказать о взаимном расположении Земли, Луны и Солнца во время солнечного и лунного затмений.

Глава XI

- Изложить современную теорию происхождения и строения комет.
- Объяснить в рамках современной теории строения комет изменения их внешнего вида по мере приближения к Солнцу и удаления от него.
- Объяснить взаимосвязь между кометами и метеорными потоками.
- Рассказать о взаимном различии метеорных тел, метеоров и метеоритов.
- Рассказать о составе и вероятном происхождении метеоритов.
- Объяснить, почему кометы и метеориты представляют интерес для ученых.

Глава XII

- Рассказать о молекулярной основе земной жизни.
- Привести доказательство возможного спонтанного развития земной жизни из неживых молекул.
- Изложить научную теорию происхождения и эволюции разумной жизни на Земле.
- Рассказать о поиске жизни на Марсе.
- Привести доказательство возможного существования планетных систем у других звезд.
- Перечислить факторы, включенные в статистическую оценку возможности существования внеземной разумной жизни.
- Изложить преобладающий современный научный взгляд на межзвездные перелеты и на НЛО.
- Перечислить несколько уже реализованных и перспективных проектов поиска внеземного разума.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. НЕКОТОРЫЕ НАИБОЛЕЕ ИНТЕРЕСНЫЕ СОЗВЕЗДИЯ

Созвездие	Латинское название	Окончание родительного падежа	Сокращение	Координаты	
				α	δ
Андромеда	Andromeda	-dae	And	1 ^h	+40°
Близнецы	Gemini	-orum	Gem	7	+25
Большой Пес	Canis Major	-ris	CMa	7	-20
Большая Медведица	Ursa Major	-sae, -ris	UMa	11	+60
Весы	Libra	-al	Lib	15	-15
Водолей	Aquarius	-rii	Aqr	23	-10
Возничий	Auriga	-gae	Aur	5 ^h 30 ^m	+40
Волопас	Bootes	-tis	Boo	14 30	+30
Волосы Вероники	Coma Berenices	Comae-	Com	13	+25
Ворон	Corvus	-vi	Crv	12 30	-20
Геркулес	Hercules	-lis	Her	17	+35
Гидра	Hydra	-drae	Hyd	11	-20
Гончие Псы	Canes Venatici	-num, -corum	CVn	12 30	+40
Дева	Virgo	-ginis	Vir	13	-10
Дракон	Draco	-conis	Dra	18	+70
Единорог	Monoceros	-rotis	Mon	7	-5
Заяц	Lepus	-poris	Lep	5 30	-20
Змееносец	Ophiuchus	-chi	Oph	17	0
Змея	Serpens	-pentis	Ser	16	0
Кассиопея	Cassiopeia	-peiae	Cas	1	+60
Кит	Cetus	-ti	Cet	2	-10
Козерог	Capricornus	-ni	Cap	21	-20
Лебедь	Cygnus	-ni	Cyg	20	+40
Лев	Leo	-onis	Leo	10 30	+20
Лира	Lyra	-ae	Lyr	18 30	+35
Лисичка	Vulpecula	-lae	Vul	19 30	+25
Малая Медведица	Ursa Minor	-sae, -ris	UMi	15	+70
Овен	Aries	-etis	Ari	2	+20
Орел	Aquila	-lae	Aql	19 30	+5
Орион	Orion	-nis	Ori	5 30	0
Пегас	Pegasus	-si	Peg	23 30	+20
Персей	Perseus	-sei	Per	3 30	+45
Рак	Cancer	-cri	Cnc	8 30	+20
Рыбы	Pisces	-cium	Psc	23 30	+5
Северная Корона	Corona Borealis	-nae	CrB	15 30	+30
Скорпион	Scorpio	-pionis	Sco	17	-30
Стрелец	Sagittarius	-rii	Sgr	18 30	-30
Телец	Taurus	-ri	Tau	4 30	+15
Треугольник	Triangulum	-li	Tri	2	+30
Цефей	Cepheus	-phei	Cep	22	+65
Эридан	Eridanus	-ni	Eri	3 30	-20
Южная Рыба	Piscis Austrinis	-ini	PsA	23	-30

2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

* Скорость света	$c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$
* Гравитационная постоянная	$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Стефана — Больцмана	$\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ К}^{-4}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,10953 \cdot 10^{-28} \text{ г}$
Масса атома водорода	$m_H = 1,67352 \cdot 10^{-24} \text{ г}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,672661 \cdot 10^{-24} \text{ г}$
* Астрономическая единица	$\text{а. е.} = 149\,597\,870 \text{ км}$
Парсек	$\text{пк} = 3,085678 \cdot 10^{18} \text{ см} =$ $= 3,261633 \text{ св. лет}$
Световой год	$\text{св. год} = 9,460530 \cdot 10^{17} \text{ см}$
* Масса Солнца	$M_\odot = 1,9891 \cdot 10^{33} \text{ г}$
* Радиус Солнца	** $R_\odot = 696\,000 \text{ км}$
Светимость Солнца	$L_\odot = 3,827 \cdot 10^{33} \text{ эрг/с}$
* Масса Земли	*** $M_\oplus = 5,9742 \cdot 10^{27} \text{ г}$
* Экваториальный радиус Земли	$R_\oplus = 6\,378,140 \text{ км}$
Направление на центр Галактики	$\alpha = 264,83^\circ, \delta = 28,90^\circ (1900)$
Эфемеридные сутки	$d_E = 86\,400 \text{ с}$
Тропический год (два последовательных прохождения Солнцем точки весеннего равноденствия)	$= 355,242199 \text{ эфемеридных суток}$
Сидерический год	$= 365,256366 \text{ эфемеридных суток}$

3. ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Альфа А α	Йота I i	Ро Р ρ
Бета В β	Каппа К κ	Сигма Σ σ
Гамма Γ γ	Ламбда Λ λ	Тау Т τ
Дельта Δ δ	Ми (мю) Μ μ	Ипсилон Υ υ
Эпсилон Ε ε	Ни (ню) Ν ν	Фи Φ φ
Дзета Ζ ζ	Кси Ξ ξ	Хи Χ χ
Эта Η η	Омикрон Ο ο	Пси Ψ ψ
Тэта Θ θ	Пи Π π	Омега Ω ω

4. ОБОЗНАЧЕНИЯ СОЛНЦА, ЛУНЫ И ПЛАНЕТ

☉ Солнце	♂ Марс	♇ Плутон
☾ Луна	♃ Юпитер	● новолуние
☿ Меркурий	♄ Сатурн	☾ первая четверть
♀ Венера	♅ Уран	◯ полнолуние
⊕ Земля	♆ Нептун	☾ третья четверть

* Принято на XVI Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза в 1976 г. в Гренобле, Франция.

** ☉ — символ Солнца.

*** ⊕ — символ Земли.

5. ОБЪЕКТЫ КАТАЛОГА МЕССЬЕ

Мессье № (М)	NGC, или IC	Прямое восхождение (1950)	Склонение (1950)	Видимая звездная величина	Описание
1	1952	5 ^h 31,5 ^m	+22°00'	11,3	● Крабовидная туманность в Тельце; остаток вспышки Сверхновой в 1054 г.
2	7089	21 30,9	— 1 02	6,4	Шаровое скопление в Водоле
3	5272	13 39,8	+28 38	6,3	● Шаровое скопление в Гончих Псах
4	6121	16 20,6	—26 24	6,5	Шаровое скопление в Скорпионе
5	5904	15 16,0	+ 2 17	6,1	Шаровое скопление в Змее
6	6405	17 36,8	—32 10		Рассеянное скопление в Скорпионе
7	6475	17 50,7	—34 48		Рассеянное скопление в Скорпионе
8	6523	18 00,6	—24 23		● Туманность «Лагуна» в Стрельце
9	6333	17 16,3	—18 28	8,0	Шаровое скопление в Змее-носце
10	6254	16 54,5	— 4 02	6,7	Шаровое скопление в Змее-носце
11	6705	18 48,4	— 6 20		Рассеянное скопление в Щите
12	6218	16 44,7	— 1 52	7,1	Шаровое скопление в Змее-носце
13	6205	16 39,9	+36 33	5,9	● Шаровое скопление в Геркулесе
14	6402	17 35,0	— 3 13	8,5	Шаровое скопление в Змее-носце
15	7078	21 27,5	+11 57	6,4	Шаровое скопление в Пегасе
16	6611	18 16,1	—13 48		● Рассеянное скопление с туманностью в Змее
17	6618	18 17,9	—16 12		Туманность «Омега» в Стрельце
18	6613	18 17,0	—17 09		Рассеянное скопление в Стрельце
19	6273	16 59,5	—26 11	7,4	Шаровое скопление в Змее-носце
20	6514	17 59,4	—23 02		«Трираздельная» туманность в Стрельце
21	6531	18 01,6	—22 30		Рассеянное скопление в Стрельце
22	6656	18 33,4	—23 57	5,6	Шаровое скопление в Стрельце
23	6494	17 54,0	—19 00		Рассеянное скопление в Стрельце

NGC — это Новый Генеральный Каталог звездных скоплений, галактик и туманностей, составленный Дрейером в 1888 г. IC — это Дополнительный Каталог, являющийся продолжением NGC, он опубликован в 1904 г. в Трудах Гарвардской обсерватории и переработан в 1908 г.

● Наиболее интересны для наблюдения объекты.

Меcье № (М)	NGC, или IC*	Прямое восхождение (1950)	Склонение (1950)	Видимая звездная величина	Описание
24	6603	18 ^h 15,5 ^m	—18° 27'		Рассеянное скопление в Стрельце
25	(4725)	18 28,7	—19 17		Рассеянное скопление в Стрельце
26	6694	18 42,5	— 9 27		Рассеянное скопление в Щите
27	6853	19 57,5	+22 35	8,2	● Планетарная туманность «Гантель» в Лисичке
28	6626	18 21,4	—24 53	7,6	Шаровое скопление в Стрельце
29	6913	20 22,2	+38 21		Рассеянное скопление в Лебеде
30	7099	21 37,5	—23 24	7,7	Шаровое скопление в Козероге
31	224	0 40,0	+41 00	3,5	● Галактика Андромеды
32	221	0 40,0	+40 36	8,2	● Эллиптическая галактика; спутник М 31
33	598	1 31,0	+30 24	5,8	Спиральная галактика в Треугольнике
34	1039	2 38,8	+42 35		● Рассеянное скопление в Персее
35	2168	6 05,7	+24 21		Рассеянное скопление в Близнецах
36	1960	5 33,0	+34 04		Рассеянное скопление в Возничем
37	2099	5 49,1	+32 33		Рассеянное скопление в Возничем
38	1912	5 25,3	+35 47		Рассеянное скопление в Возничем
39	7092	21 30,4	+48 13		Рассеянное скопление в Лебеде
40		12 20	+59		● Близкая пара звезд в Большой Медведице
41	2287	6 44,9	—20 41		Большое рассеянное скопление в Большом Псе
42	1976	5 32,9	— 5 25		● Туманность Ориона
43	1982	5 33,1	— 5 19		Северо-восточная часть туманности Ориона
44	2632	8 37	+20 10		Ясли; рассеянное скопление в Раке
45		3 44,5	+23 57		● Плеяды; рассеянное скопление в Тельце
46	2437	7 39,5	—14 42		Рассеянное скопление в Корме
47	2478	7 52,4	—15 17		Большая группа звезд в Корме
48		8 11	— 1 40		Скопление очень маленьких неразличимых звезд
49	4472	12 27,3	+ 8 16	8,5	Эллиптическая галактика в Деве
50	2323	7 00,6	— 8 16		Большое рассеянное скопление в Единороге

Меcье № (М)	NGC, или IC*	Прямое восхождение (1950)	Склонение (1950)	Видимая звездная величина	Описание
51	5194	13 ^h 27,8 ^m	+47° 27'	8,4	Спиральная галактика «Водо- ворот» в Гончих Псах
52	7654	23 22,0	+61 20		Большое рассеянное скоп- ление в Кассиопее
53	5024	13 10,5	+18 26	7,8	Шаровое скопление в Во- лосах Вероники
54	6715	18 51,9	—30 32	7,8	Шаровое скопление в Стрельце
55	6809	19 36,8	—31 03	6,2	Шаровое скопление в Стрельце
56	6779	19 14,6	+30 05	8,7	Шаровое скопление в Лире
57	6720	18 51,7	+32 58	9,0	●Туманность «Кольцо»; планетарная туманность в Лире
58	4579	12 35,2	+12 05	9,6	Спиральная галактика в Деве
59	4621	12 39,5	+11 56	10,0	Спиральная галактика в Деве
60	4649	12 41,1	+11 50	9,0	Эллиптическая галактика в Деве
61	4303	12 19,3	+ 4 45	9,6	Спиральная галактика в Деве
62	6266	16 58,0	—30 02	7,3	Шаровое скопление в Скор- пионе
63	5055	13 13,5	+42 17	8,6	●Спиральная галактика в Гончих Псах
64	4826	12 54,2	+21 57	8,5	Спиральная галактика в Волосах Вероники
65	3623	11 16,3	+13 22	9,4	Спиральная галактика во Льве
66	3627	11 17,6	+13 16	9,0	Спиральная галактика во Льве; спутник М65
67	2682	8 48,4	+12 00		Рассеянное скопление в Раке
68	4590	12 36,8	—26 29	8,2	Шаровое скопление в Гид- ре
69	6637	18 28,1	—32 24	8,0	Шаровое скопление в Стрельце
70	6681	18 40,0	—32 20	8,1	Шаровое скопление в Стрельце
71	6838	19 51,5	+18 39		Шаровое скопление в Стрельце
72	6981	20 50,7	—12 45	9,3	Шаровое скопление в Во- долее
73	6994	20 56,2	—12 50		Рассеянное скопление в Водолее
74	628	1 34,0	+15 32	9,3	Спиральная галактика в Рыбах
75	6864	20 03,1	—22 04	8,6	Шаровое скопление в Стрельце
76	650	1 39,1	+51 19	11,4	●Планетарная туманность в Персее

Мессье № (M)	NGC, или IC*	Прямое восхождение (1950)	Склонение (1950)	Видимая звездная величина	Описание
77	1068	2 ^h 40,1 ^m	— 0° 12'	8,9	Спиральная галактика в Киле
78	2068	5 44,2	+ 0 02		Небольшая эмиссионная туманность в Орионе
79	1904	5 22,1	—24 34	7,5	Шаровое скопление в Зайце
80	6093	16 14,0	—22 52	7,5	Шаровое скопление в Скорпионе
81	3031	9 51,7	+69 18	7,0	● Спиральная галактика в Большой Медведице
82	3034	9 51,9	+69 56	8,4	Неправильная галактика в Большой Медведице
83	5236	13 34,2	—29 37	8,3	Спиральная галактика в Гидре
84	4374	12 22,6	+13 10	9,4	Эллиптическая галактика в Деве
85	4382	12 22,8	+18 28	9,3	Эллиптическая галактика в Волосах Вероники
86	4406	12 23,6	+13 13	9,2	Эллиптическая галактика в Деве
87	4486	12 28,2	+12 40	8,7	Эллиптическая галактика в Деве
88	4501	12 29,4	+14 42	9,5	Спиральная галактика в Волосах Вероники
89	4552	12 33,1	+12 50	10,3	Эллиптическая галактика в Деве
90	4569	12 34,3	+13 26	9,6	Спиральная галактика в Деве
91		пропущен			
92	6341	17 15,6	+43 12	6,4	Шаровое скопление в Геркулесе
93	2447	7 42,4	—23 45		Рассеянное скопление в Корме
94	4736	12 48,6	+41 24	8,3	Спиральная галактика в Гончих Псах
95	3351	10 41,3	+11 58	9,8	Пересеченная спиральная галактика во Льве
96	3368	10 44,1	+12 05	9,3	Спиральная галактика во Льве
97	3587	11 12,0	+55 17	11,1	Туманность «Сова»; планетарная туманность в Большой Медведице
98	4192	12 11,2	+15 11	10,2	Спиральная галактика в Волосах Вероники
99	4254	12 16,3	+14 42	9,9	Спиральная галактика в Волосах Вероники
100	4321	12 20,4	+16 06	9,4	Спиральная галактика в Волосах Вероники
101	5457	14 01,4	+54 36	7,9	Спиральная галактика в Большой Медведице
102		пропущен			

Мессье № (M)	NGC или IC*	Прямое восхождение (1950)	Склонение (1950)	Видимое звездная величина	Описание
103	581	1 ^h 29,9 ^m	+60 26		Рассеянное скопление в Кассиопее
104	4594	12 37,4	—11 21	8,3	Спиральная галактика в Деве
105	3379	10 45,2	+13 01	9,7	Эллиптическая галактика во Льве
106	4258	12 16,5	+47 35	8,4	Спиральная галактика в Гончих Псах
107	6171	16 29,7	—12 57	9,2	Шаровое скопление в Змее-носце

6. СПУТНИКИ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Планета	Спутник	Расстояние от планеты (км)*	Диаметр (км)	Период обращения (сутки, часы, минуты)**	Кто и когда открыл
Земля	Луна	384 400	3476	27 ^d 07 ^h 41 ^m	
Марс	Фобос	9379	21	7 39	Холл, 1877
	Деймос	23459	15	1 06 18	Холл, 1877
Юпитер	XVI Метида	(127800)***	(40)	7 04	Синнот, 1980
	XIV Фива	128000	(30—40)	7 08	Джевитт, 1979
	V Амальтея	181500	265	11 57	Барнард, 1892
	XV Адрастея	223000	(80)	16 16	Синнот, 1980
	I Ио	422000	3632	1 18 28	Галилей, 1610
	II Европа	671400	3126	3 13 14	Галилей, 1610
	III Ганимед	1071000	5276	7 03 43	Галилей, 1610
	IV Каллисто	1884000	4820	16 16 32	Галилей, 1610
	XIII Леда	11094000	7	238 ^d ,7	Ковал, 1974
	VI Гималия	11487000	170	250 ^d ,57	Перрин, 1904
	X Лизистея	11861000	(14)	263 ^d ,55	Никольсон, 1938
	VII Элара	11747000	80	259 ^d ,65	Перрин, 1905
	XII Ананке	21250000	(14)	631 ^d	Никольсон, 1951
	XI Карме	22540000	(14)	692 ^d	Никольсон, 1938
	VIII Пасифе	23510000	(16)	739 ^d	Меллот, 1908
	IX Синопе	23670000	(14)	758 ^d	Никольсон, 1914
Сатурн	Атлас	137300	30	14 ^d ,45	«Вояджер-1», 1980
	1980 S27	139400	220	14 ^d ,71	«Вояджер-1», 1980
	1980 S26	141700	200	15 ^d ,09	«Вояджер-1», 1980
	Эпиметий	151400	90×40	16 ^d ,66	«Вояджер-1», 1980
	Янус	157500	100×90	16 ^d ,67	«Вояджер-1», 1980
	1981 S12	185000	(10)	22 ^d ,61	Синнот, 1982****
	Мимас	188200	390	0 ^d ,96	В. Гершель, 1789
	Энцелад	240200	500	1 ^d ,39	В. Гершель, 1789
	1981 S6	295000	(20)	1 ^d ,89	Синнот, 1982****

Планета	Спутник	Расстояние от планеты (км)*	Диаметр (км)	Период обращения (сутки, часы, минуты)**	Кто и когда открыл
Уран	Телесто	296 600	(30 × 40)***	1 ^d ,91	Аризон. у-т, 1980
	Тефия	296 600	1 050	1 ^d ,91	Ж. Д. Кассини, 1684
	Калипсо	296 600	(30 × 40)	1 ^d ,91	Уэстфолл, 1980
	1981 S10	350 000	(15)	2 ^d ,44	Синнот, 1982****
	1981 S7	375 000	(15)	2 ^d ,73	Синнот, 1982****
	Диона В	378 600	(160)	2 ^d ,74	«Вояджер-1», 1980
	Диона	379 100	1 120	2 ^d ,76	Ж. Д. Кассини, 1684
	1981 S9	470 000	(20)	3 ^d ,8	Синнот, 1982****
	Рея	527 800	1 530	4 ^d ,53	Ж. Д. Кассини, 1672
	Титан	1 221 400	5 140	15 ^d ,94	Гюйгенс, 1655
	Гиперион	1 502 300	290	21 ^d ,74	Бонд, 1848
	Япет	3 559 400	1 440	79 ^d ,24	Ж. Д. Кассини, 1671
	Феба	10 583 200	(160)	406 ^d ,49	Пикеринг, 1898
	Миранда	129 800	(300)	1 ^d ,41	Койпер, 1948
	Ариель	190 900	—	2 ^d ,52	Лассель, 1851
	Умбриель	266 000	(400)	4 ^d ,14	Лассель, 1851
Нептун	Титания	436 000	(1 700)	8 ^d ,71	В. Гершель, 1787
	Оберон	583 400	—	13 ^d ,46	В. Гершель, 1787
Плутон	Тритон	355 550	4 400	5 ^d ,88	Лассель, 1846
	Нереида	5 567 000	(500)	359 ^d ,88	Койпер, 1949
Плутон	Харон	17 000	—	6 ^d ,39	Кристи, 1978

* Большая полуось.

** Сидерический период.

*** Скобки свидетельствуют о предполагаемом значении параметра.

**** Спутник сфотографирован «Вояджером-1» в 1981 г., но открыт в 1982 г.

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агекян Т. А. Звезды, галактики, Метагалактика.— М.: Наука, 1982.
2. Астрономический календарь. Постоянная часть.— М.: Наука, 1981. В дополнение к нему то же издательство каждый год публикует «Астрономический календарь». Ежегодник. Переменная часть.
3. Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение.— М.: Наука, 1979.
4. Бялко А. В. Наша планета — Земля.— М.: Наука, 1983. (Библиотечка «Квант», вып. 29.)
5. Волков А. М. В поисках правды.— М.: Детская литература, 1980.
6. Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной.— М.: Наука, 1980.
7. Голованов Я. К. Дорога на космодром.— М.: Детская литература, 1982.
8. Гребеников Е. А., Рябов Ю. А. Поиски и открытия планет.— М.: Наука, 1984.
9. Гурштейн А. А. Извечные тайны неба.— М.: Просвещение, 1984.
10. Дагаев М. М. Книга для чтения по астрономии.— М.: Просвещение, 1980.
11. Дагаев М. М. Наблюдение звездного неба.— М.: Наука, 1984.
12. Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной.— М.: Наука, 1984.
13. Зигель Ф. Ю. Сокровища звездного неба. Путеводитель по созвездиям и Луне.— М.: Наука, 1981.
14. Зигель Ф. Ю. Звездная азбука.— М.: Просвещение, 1981.

15. Карпенко Ю. А. Названия звездного неба.— М.: Наука, 1981.
16. Климишин И. А. Астрономия наших дней.— М.: Наука, 1980.
17. Климишин И. А. Календарь и хронология.— М.: Наука, 1981.
18. Колчинский И. Г., Корсунь А. А., Родригес М. Г. Астрономы. Биографический справочник.— Киев: Наукова думка, 1977.
19. Кононович Э. В. Солнце — дневная звезда.— М.: Просвещение, 1982.
20. Ксанфомалити Л. В. Планеты, открытые заново.— М.: Наука, 1978.
21. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии.— М.: Наука, 1971.
22. Левитан Е. П. Астрофизика — школьникам.— М.: Просвещение, 1977.
23. Левитт И. За пределами известного мира: от белых карликов до квазаров.— М.: Мир, 1978.
24. Максимачев Б. А., Комаров В. Н. В звездных лабиринтах. Ориентирование по небу.— М.: Наука, 1978.
25. Маров М. Я. Планеты Солнечной системы.— М.: Наука, 1981.
26. Михайлов А. А. Земля и ее вращение.— М.: Наука, 1984, (Библиотечка «Квант», вып. 35.)
27. Мухин Л. М. В нашей Галактике.— М.: Молодая гвардия, 1983.
28. Навашин М. С. Телескоп астронома-любителя/Под ред. В. П. Цесевича.— М.: Наука, 1979.
29. Новиков И. Д. Эволюция Вселенной.— М.: Наука, 1983.
30. Сикорук Л. Л. Телескопы для любителей астрономии.— М.: Наука, 1983.
31. Силкин Б. И. В мире множества лун.— М.: Наука, 1982.
32. Томито Т. Беседы о кометах.— М.: Знание, 1982.
33. Хауз Д. Гринвичское время и открытие долготы.— М.: Мир, 1982.
34. Шевченко В. В. Луна и ее наблюдение.— М.: Наука, 1983.
35. Школьный астрономический календарь. Ежегодник.— М.: Просвещение.
36. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум.— М.: Наука, 1980.
37. Энциклопедический словарь юного астронома.— М.: Педагогика, 1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора перевода	5
Введение. Взгляд на Вселенную	7
Глава I. Изучение звездного неба	11
Вопросы для самоконтроля	25
Ответы	26
Глава II. Свет и телескопы	28
Вопросы для самоконтроля	48
Ответы	49
Глава III. Звезды	51
Вопросы для самоконтроля	70
Ответы	72
Глава IV. Эволюция звезд	74
Вопросы для самоконтроля	90
Ответы	91
Глава V. Галактики	92
Вопросы для самоконтроля	114
Ответы	117
Глава VI. Вселенная	119
Вопросы для самоконтроля	129
Ответы	130
Глава VII. Солнце	132
Вопросы для самоконтроля	149
Ответы	150
Глава VIII. Взгляд на Солнечную систему	152
Вопросы для самоконтроля	167
Ответы	168
Глава IX. Планеты	170
Вопросы для самоконтроля	195
Ответы	197
Глава X. Луна	198
Вопросы для самоконтроля	211
Ответы	212
Глава XI. Кометы, метеоры, метеориты	214
Вопросы для самоконтроля	224
Ответы	226
Глава XII. Жизнь на других мирах?	227
Вопросы для самоконтроля	236
Ответы	237
Эпилог	239
Что полезно знать и уметь	240
Приложения	246

Дина Моше
Астрономия

Заведующая редакцией **Н. В. Хрусталь**
Редактор **Л. Л. Величко**
Мл. редактор **Л. С. Дмитриева**
Художественный редактор **В. М. Прокофьев**
Технический редактор **С. Н. Терехова**
Корректоры **Т. А. Воробьева, Л. А. Ермолина**

ИБ № 7518

Сдано в набор 26.10.84. Подписано к печати 17.05.85. Формат 60×90¹/₁₆.
Бум. типограф. № 1. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л.
16,0+0,25 форз. Усл. кр.-отт. 32,51. Уч.-изд. л. 15,89+0,35 форз. Тираж 85000 экз.
Заказ 90. Цена 1 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государст-
венного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Калининский ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской
литературы им. 50-летия СССР Росглавполиграфпрома Госкомиздата РСФСР
170040, Калинин, проспект 50-летия Октября, 46.